

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інститут телекомунікаційних систем**

**Кафедра Телекомунікаційних систем**

«На правах рукопису»  
УДК 621.391

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Л.О. Уривський

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка**

**на тему: «Дослідження показників своєчасності при реалізації сервісів у  
мультисервісній системі DVB-T2 »**

Виконала:

студентка II курсу, групи ТС-81мп

Горшкова Анастасія Михайлівна \_\_\_\_\_

Керівник:

доцент кафедри ТС, к.т.н., доцент

Мошинська А.В. \_\_\_\_\_

Рецензент:

професор кафедри ІТМ, д.т.н., с.н.с.

Скуліш М.А. \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.  
Студентка \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Інститут телекомунікаційних систем**

**Кафедра Телекомунікаційних систем**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
(172.3620.1 «Телекомунікаційні системи та мережі»)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Л.О. Уривський

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту**

**Горшковій Анастасії Михайлівні**

1. Тема дисертації «Дослідження показників своєчасності при реалізації сервісів у мультисервісній системі DVB-T2», науковий керівник дисертації Мошинська Аліна Валентинівна, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «05» листопада 2019 р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації 05.12.2019

3. Об'єкт - дослідження показника своєчасності та параметрів, що на нього впливають в мультисервісних системах стандарту DVB-T2

4. Предмет – є розробка імітаційні моделі ланки мультисервісної системи стандарту DVB-T2.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1. Обґрунтування дослідження телевізійного стандарту ефірного мовлення DVB-T2 та його особливості.
2. Дослідження фазової синхронізації інформаційного сигналу стандарту DVB-T2
3. Оцінка параметрів, що впливають на показник своєчасності в системі DVB-T2.

4. Розробка імітаційної моделі ланки зв'язку для дослідження показників своєчасності

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

Плакат №1 «Тема, мета, об'єкт та предмет дослідження магістерської роботи»

Плакат №2 «Завдання дослідження, особливості стандарту DVB-T2»

Плакат №3 «Оцінка показника своєчасності, основні характеристики своєчасності»

Плакат №4 «Дослідження показника своєчасності при імітаційному моделюванні»

Плакат №5 «Результати імітаційного моделювання ланки зв'язку»

Плакат №6 «Висновки»

7. Перелік публікацій:

Horshkova A.M. Phase synchronization information signal in single-frequency networks transmitters of digital tv broadcasting DVB-T2 standard // XX

Міжнародна студентська науково-практична конференція “Science and Technology of the XXI Century”. - Збірник тез конференції.

8. Дата видачі завдання 30.09.2018

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Підбір літератури	30.11.2019	Виконано
2.	Обґрунтування актуальності дослідження показників своєчасності сервісів в мультисервісній системі DVB- T2	02.01.2019	Виконано
3.	Опрацювання технічних особливостей стандарту DVB-T2	05.03.2019	Виконано
4.	Дослідження сервісів, що надаються в системі DVB-T2	8.05.2019	Виконано
5.	Аналіз факторів, що впливають на показники своєчасності в системі DVB-T2	10.08.2019	Виконано
6.	Дослідження методів, щодо покращення показників своєчасності в системі DVB-T2	10.09.2019	Виконано
7.	Оформлення дипломної роботи, Написання висновків	1.12.2019	Виконано

Студент

А.М. Горшкова

Науковий керівник дисертації

А.В. Мошинська

## РЕФЕРАТ

Текстова частина дипломної роботи: 74с., 30 Рисунок, 7 табл., 17 джерел.

Розвиток телекомунікаційних систем і зростання обсягу мультимедійного трафіку, що передається через них, актуалізують питання забезпечення своєчасності і якості його обслуговування.

У даній роботі досліджуються характеристики стандарту DVB-T2, розглядаються ефективні сторони цього стандарту у якості мультисервісної системи, а також детально досліджується показник своєчасності та параметри, що на нього впливають при різних умовах.

В ході дослідження показника своєчасності було досліджено інформаційний сигнал, що передається в одночастотній мережі передавачами цифрового телевізійного мовлення стандарту DVB-T2.

В роботі проводиться розрахунок параметрів, що впливають на своєчасність та відбувається розробка імітаційної моделі ланки зв'язку для більш глибоко дослідження параметру своєчасності стандарту DVB-T2 при різних навантаженнях. Оцінка своєчасності обслуговування трафіку проводилася за показником - час затримки пакета в моделі вузла. В якості методу дослідження було обрано імітаційне моделювання, а в якості інструментарію - середовище імітаційного моделювання GPSS World.

Метою роботи є проведення аналізу показника своєчасності стандарту DVB-T2 при обслуговуванні трафіку в мережі на основі розробки імітаційного моделювання.

Елементом новизни роботи є аналітичний вираз для показника своєчасності обслуговування складного трафіку, одночасно враховує як рівень завантаження вузла, так і рівень складності трафіку.

Отриманий аналітичне вираз для оцінки своєчасності обслуговування складного трафіку може бути використано при вирішенні прикладних задач проектування та аналізу мереж зв'язку стандарту DVB-T2 при передачі мультисервісного трафіку в умовах високого завантаження мережі. Крім того,

цей вираз може бути використано для перевірки достовірності результатів раніше проведених досліджень.

## ABSTRACT

The master`s thesis consists of 74 pages, 30 figures, 7 tables and 17 references.

The development of telecommunication systems and the growth of the volume of multimedia traffic transmitted through them are pressing issues of ensuring timeliness and quality of its service.

This paper examines the characteristics of the DVB-T2 standard, examines the effective aspects of this standard as a multiservice system, and examines in detail the timeliness index and the parameters that affect it under different conditions.

During the study of the timeliness index, the information signal transmitted on a single-frequency network by DVB-T2 digital television broadcast transmitters was investigated.

The paper calculates the parameters that affect timeliness and develops a simulation model of the link for a deeper study of the parameter timeliness of the DVB-T2 standard at different loads. The estimation of timeliness of traffic service was carried out by the indicator - packet delay time in the node model. Simulation modeling was used as the research method and GPSS World simulation toolkit was used as a tool.

The purpose of this work is to analyze the timeliness of the DVB-T2 standard for servicing complex network traffic based on the development of simulation modeling.

An element of novelty of the work is the analytical expression for the timeliness of complex traffic service, while taking into account both the level of node load and the level of traffic complexity.

The resulting analytical expression for estimating the timeliness of complex traffic service can be used in solving the application problems of designing and analyzing communication networks of DVB-T2 standard when transmitting multiservice traffic in high network load conditions. In addition, this expression can be used to validate the results of previous studies.

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	10
Вступ.....	12
РОЗДІЛ 1. АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ СВОЄЧАСНОСТІ В МУЛЬТИСЕРВІСНІЙ СИСТЕМІ DVB- T2.....	14
1.1 Обґрунтування завдань, функцій та визначення особливостей ТКС стандарту DVB-T2.....	14
1.2 Обґрунтування використання високошвидкісної МСС.....	17
1.3 Обґрунтування показників функціонування високошвидкісної телекомунікаційної системи.....	19
1.4 Мета та постановка задачі.....	21
1.5 Висновки до розділу 1.....	22
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТАНДАРТУ DVB-T2.....	24
2.1 Аналіз обробки цифрових потоків у стандарті DVB-T2.....	24
2.2 Особливості структури кадру DVB-T.....	26
2.3 Висновки до розділу 2.....	29
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ СВОЄЧАСНОСТІ МСС СТАНДАРТУ DVB-T2.....	30
3.1 Особливості визначення показників своєчасності в МСС стандарту DVB- T2.....	30
3.2 Фазова синхронізація інформаційного сигналу стандарту DVB- T2.....	31
3.3 Дослідження показника своєчасності імітаційної моделі обслуговування потoku з розподілом Парето.....	36
3.4 Висновки до розділу 3.....	49
РОЗДІЛ 4. ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКА СВОЄЧАСНОСТІ МСС СТАНДАРТУ DVB-T2.....	51



4.1 Аналіз способів покращення показника своєчасності обслуговування трафіку в системі масового обслуговування.....	51
4.2 Апроксимація результатів імітаційного моделювання $T_{зад}$ ( $\rho$ ) в залежності від рівня завантаження вузла для різного рівня складності трафіку.....	55
4.3 Апроксимація результатів імітаційного моделювання $T_{зад}$ ( $\alpha$ , $\rho$ ) в залежності від рівня завантаження вузла і рівня складності трафіку.....	61
4.4 Висновки до розділу 4.....	67
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	69
ДОДАТОК А ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МОДЕЛІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕКСПОНЕНЦІЙНОГО ТРАФІКУ В ПРОГРАМІ GPSS WORLD.....	71
ДОДАТОК Б ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТРАФІКУ З РОЗПОДІЛОМ ПАРЕТО В ПРОГРАМІ GPSS WORLD.....	72
ДОДАТОК В ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МОДЕЛІ М/М/1 В ПРОГРАМІ GPSS WORLD.....	73
ДОДАТОК Г ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МОДЕЛІ РА/М/1 В ПРОГРАМІ GPSS WORLD.....	74

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

MCC	Мультисервісна система
TKC	Телекомунікаційна система
DVB-T2	Digital Video Broadcasting - Second Generation Terrestrial
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial
FFT	Fast Fourier transform
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
LDPC	Low-density parity-check code
FEC	Forward Error Correction
HD	High Definition
QoS	Quality of service
ITC	Інформаційна телекомунікаційна система
BCH	Bose–Chaudhuri–Hocquenghem
MAC	Media Access Control
PLP	Physical Layer Pipe
MPEG-2	Moving Picture Experts Group
TS	Transport Stream
GSE	Generic Encapsulated Stream
GCS	Generic Continuous Stream
UP	User Packet
BB Baseband	Baseband
BICM	Bit Interleaved Coding and Modulation
FEF	Future Extension Frame
MISO	Multiple Input Single Output
SISO	Single Input Single Output

SFN	System Frame Number
GPSS World	General Purpose Simulation System World
GPS	Global Positioning System
IC	Інформаційний сигнал
T2-MI	T2 Modulator Interface
T2 MIP	T2-modulator information packet
MIP	Mega frame Initialization Packet
СМО	Система масового обслуговування
МОЧ	Математичне очікування
СКВ	Середньоквадратичне відхилення
BICM	Bit Interleaved Coding and Modulation

## ВСТУП

Сучасний світ спрямований на активний розвиток науки та техніки. Для обміну та розповсюдження інформації використовуються різні технології. Користувачі потребують найкращих умов для передачі інформації. Вимоги до мереж передачі достатньо високі, тому дослідження мереж та їх вдосконалення це питання номер один для галузі телекомунікацій.

В даний час галузі телекомунікацій розвиваються стрімкими темпами. З модернізацією техніки поліпшується якість традиційних послуг електричного зв'язку, з'являються нові. Серед них найважливішу роль для вирішення інформаційних, культурних і інших завдань грає телевізійне мовлення.

На початку 1990-х років почалась розробка телевізійних стандартів, що отримали назву Digital Video Broadcasting, що більш відомо скорочено як DVB, тобто цифрове відео мовлення.

Стандарти постійно розроблялися, оновлювалися і звідси виникали нові можливості телебачення. Так на заміну стандарту DVB-T прийшов стандарт DVB-T2. Новий стандарт має багато переваг та широко застосовується у багатьох країнах, у тому числі і в Україні.

Метою роботи є проведення аналізу показника своєчасності стандарту DVB-T2 при обслуговуванні трафіку в мережі на основі розробки імітаційного моделювання.

Об'єктом дослідження роботи є дослідження показника своєчасності та параметрів, що на нього впливають в мультисервісних системах стандарту DVB-T2.

Предметом дослідження є розробка імітаційні моделі ланки мультисервісної системи стандарту DVB-T2.

Відповідно до мети основними задачами є:

1. Обґрунтування дослідження телевізійного стандарту ефірного мовлення DVB-T2 та його особливості.

2. Дослідження фазової синхронізації інформаційного сигналу стандарту DVB-T2
3. Оцінка параметрів, що впливають на показник своєчасності в системі DVB-T2.
4. Розробка імітаційної моделі ланки зв'язку для дослідження показників своєчасності

У першому розділі визначається мета роботи, розглядається актуальність дослідження МСС стандарту DVB-T2, поняття високошвидкісної МСС, структура МСС. А саме, огляд головних особливостей стандарту DVB-T2, розгляд рівні МСС та розгляд головних вимог, що ставляться МСС.

Другий розділ базується на аналізі телевізійного стандарту DVB-T2, а саме на процесі обробки вхідних сигналів. Розглядається схема обробки сигналів та структура кадру стандарту для подальшого дослідження показника своєчасності.

У третьому розділі розглядається показник своєчасності, а саме його визначення, що саме впливає на своєчасність у стандарті DVB-T2 на своєчасність інформації. Також, у даному розділі було розглянуто як на показник своєчасності впливає завантаженість пристрою.

У четвертому розділі проводиться розробка імітаційної моделі ланки зв'язку для дослідження показника своєчасності та виводиться аналітичний вираз для обчислення показника своєчасності.

Отже, магістерська робота присвячена дослідженню стандарту DVB-T2 та його характеристик, що впливають на показник своєчасності за допомогою імітаційного моделювання.

## РОЗДІЛ 1. АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ СВОЄЧАСНОСТІ В МУЛЬТИСЕРВІСНІЙ СИСТЕМІ DVB-T2

### 1.1 Обґрунтування завдань, функцій та визначення особливостей ТКС стандарту DVB-T2

В сучасному світі відбувається стімкий розвиток науки і техніки. Область електричного зв'язку в даний час відчуває революційні перетворення, пов'язані з глобалізацією виробничих і економічних процесів в світовому співтоваристві; цьому відповідає зародження і розвиток нових технологій: злиття комп'ютерних і телекомунікаційних систем, впровадження волоконно-оптичної техніки, розвиток цифрових методів і засобів передачі даних, зберігання і обробка інформації.

Головним завданням цифрового телевізійного мовлення це було ефективно використання ресурсів для передачі телепрограм по наземним, кабельним та супутниковим системам зв'язку.

Актуальним є дослідженням стандарту DVB-T2, бо він є покращенням та функціонально розширеним послідовником стандарту DVB-T. У ньому збережені основні ідеї обробки сигналу такі як, скремуння, перемеження даних, кодування, але при цьому кожен етап вдосконалений та доповнений.

Велика частина рішень, використана при розробці DVB-T2, була спрямована на максимальне збільшення пропускної здатності каналів. Ряд характеристик - нові розмірності FFT і захисних інтервалів, а також нові режими введення пілот-сигналів, були введені для можливості оптимізації параметрів залежно від характеристик конкретного каналу.

Комерційні вимоги до стандарту DVB, європейського стандарту ефірного наземного цифрового телебачення такі:

- трансляції DVB-T2 повинні прийматися на наявні домашні антени, і перехід на новий стандарт не повинен вимагати зміни інфраструктури передавальної системи;

- DVB-T2 в першу чергу повинен бути орієнтований на передачу сигналу для фіксованих і портативних антен;
- DVB-T2 повинен забезпечити, як мінімум, 30%-ий приріст пропускної здатності каналів щодо вже використовуваного стандарту DVB-T при ідентичних умовах передачі;
- DVB-T2 повинен допускати можливість співіснування в одному РЧ-каналі послуг, переданих з різним ступенем завадостійкості. Наприклад, частина послуг, що транслюються по одному каналу шириною 8 МГц, може бути призначена для приймання на спрямовані антени, встановлені на дахах, а частина - для приймання на кімнатні портативні антени;
- DVB-T2 повинен підвищити гнучкість використання смуги і частот;
- повинен бути присутнім механізм, що знижує співвідношення пікової та середньої потужності переданого сигналу. Це дозволить знизити експлуатаційні витрати.

Стандарт DVB-T2 є нащадком стандарту DVB-T. Порівняльна характеристика наведена у таблиці.

Таблиця 1.1 Порівняльна характеристика стандарту DVB-T та DVB-T2

	DVB-T	DVB-T2
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, <b>256QAM</b>
FEC	Conv. Coding + RS $\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{5}{6}, \frac{7}{8}$	<b>BCH + LDPC</b> $\frac{1}{2}, \frac{3}{5}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{5}{6}$
Guard Interval	$\frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{32}$	$\frac{1}{4}, \frac{19}{256}, \frac{1}{8}, \frac{19}{128}, \frac{1}{16}, \frac{1}{32}, \frac{1}{128}$
FFT Size	2k, 4k, 8k	<b>1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k</b>
Scattered Pilots	8% of Total	<b>1%, 2%, 4%, 8%</b> of Total
Continual Pilots	2.6% of Total	<b>0.35%</b> of Total

При розробці DVB-T2 проводили порівняння декількох варіантів різноманітних модулів з однією або множинними нечітками. В результаті був вибраний варіант OFDM з захисними інтервалами, який використовується в DVB-T.

Довжина захисного інтервалу вибирається залежно від розрахункової протяжності ефірного тракту і інших параметрів мережі передачі. Довші захисні інтервали потрібні в одночастотних мережах, де сигнали з сусідніх передавачів можуть приходити на приймач із значним запізненням щодо основного сигналу. Захисний інтервал являє собою надбудову, що з'їдає частку транспортного ресурсу. У DVB-T ця надбудова може займати до 1/4 загального обсягу переданих даних. Для можливості подовжити захисний інтервал без збільшення його частки в загальному обсязі даних в T2 були введені два нових режиму - 16K і 32K - з відповідним збільшенням числа ортогональних несучих.

Максимальна тривалість захисного інтервалу в DVB-T2 досягається в режимі 32K при відносно GI і довжини всього символу 19/128. Тривалість GI при цьому перевищує 500 мкс, чого цілком достатньо для будівництва великої загальнодержавної одночастотної мережі.

Таким чином, T2 пропонує більш широкий ряд розмірностей FFT і захисних інтервалів.

Як уже зазначалося, в OFDM кожна несуча модулюється по фазі і амплітуді. Вища модуляція стандарту DVB-T, 64 QAM, забезпечує передачу 6 біт одним символом. Вища модуляція в DVB-T2 збільшена до 256 QAM, вона дозволяє передавати одним символом 8 біт. Незважаючи на те, що цей тип модуляції більш чутливий до помилок, обумовленим шумом, тестова імітація показала, що LDPC FEC забезпечує тридцятивідсоткове збільшення ефективності використання каналу в порівнянні з DVB-T при типових умовах передачі.

З'явилися в T2 нові режими - 16K і 32K - мають значно більше крутий спад позасмугових складових, ніж режим 2K. Це дозволяє розміщувати несучі



ближче до стандартної спектральної масці, яка накладається на HD-мовлення DVB-T у смузі 8 МГц. Це розширення смуги дозволяє передати ще 2% додаткових даних

Модифікація DVB-T2 є ідеальним рішенням, що надає високий рівень постійного сигналу та забезпечує необхідне збільшення пропускної здатності при збереженні існуючої інфраструктури антен. Треба відмітити, що вільні частотні ресурси, які з'являються при відмові від аналогового телебачення відкриває додаткові можливості для надання послуг на основі стандарту DVB-T2.

Стандарт DVB-T2 є єдиний для мережі цифрового ефірного телебачення в Україні. Аналіз реальних мереж передачі мультимедійного трафіку, показує, що мультимедійний трафік має властивість структурної складності. Наявність цієї властивості веде до зниження своєчасності обслуговування трафіку в вузлах мережі. У зв'язку з цим актуальним напрямом роботи є дослідження показників своєчасності при реалізації сервісів в MCC DVB-T2.

## 1.2 Обґрунтування використання високошвидкісної MCC

Зростання популярності мультисервісних мереж зв'язку - одна з найпомітніших тенденцій ринку телекомунікаційних послуг в останні роки.

Для корпоративного ринку об'єднання всіх віддалених підрозділів в єдину мультисервісну мережу на порядок збільшує оперативність обміну інформацією, забезпечуючи доступність даних в будь-який час.

Інтеграція трафіку різномірних даних і мови дозволяє якісно підвищити ефективність інформаційної підтримки управління підприємством; при цьому використання інтегрованої транспортної середовища знижує витрати на створення і експлуатацію мережі.

Концепція сучасної MCC передбачає організацію телекомунікаційної системи з наданням необхідної якості обслуговування відповідних типу сервісів і додатків, що передаються кожному користувачеві.

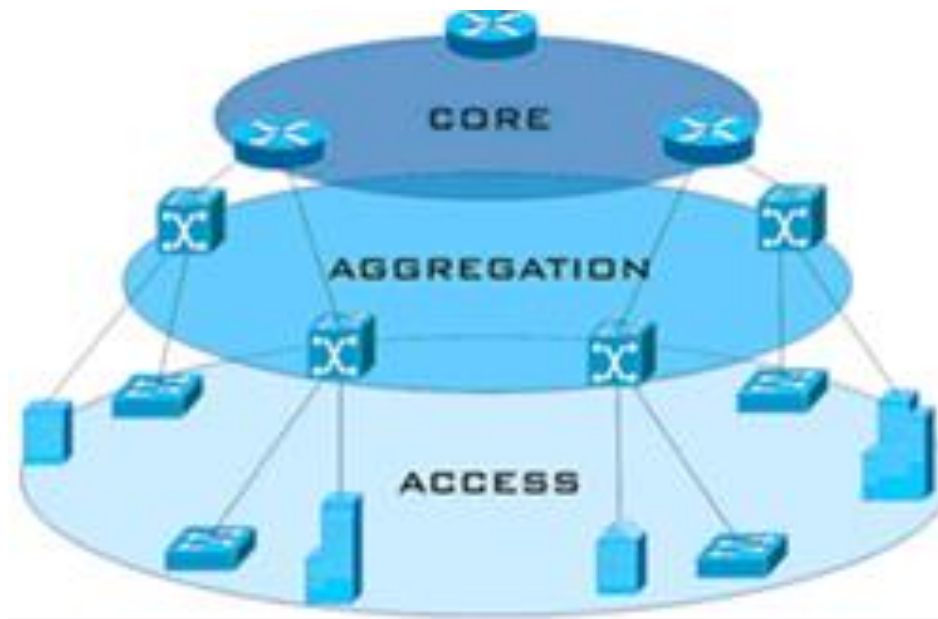


Рисунок 1.1 Ієрархічна модель МСС

В основі рішення побудови МСС лежить ієрархічна модель з розподілом на функціональні рівні. Відповідно до цієї моделі, мережа розділена на три великих рівня на кожному з яких виконуються певні мережеві функції, як показано на Рисунок:

- рівень ядра;
- рівень розподілу;
- рівень доступу;

Кожен рівень мережі забезпечує оптимальні технічні функції і виконує завдання, що відповідають переліку послуг, що надаються МСС.

Необхідні вимоги, що пред'являються до рівня ядра:

- високошвидкісна комутація та маршрутизація трафікових потоків;
- оптимізація маршрутів і агрегування трафікових потоків;
- транзитна безперешкодна передача зовнішнього трафіку;
- маршрутизація багатоадресних потоків, з підтримкою QoS;
- забезпечення гарантованого резервування функцій управління трафіком і електроживлення обладнання і т.д.

Ядро мережі топологічно виконаний у вигляді кільця або об'єднані півкільця, до яких підключаються центральні вузли, які взаємодіють з

системами прикладного програмного забезпечення, серверами мережі і зовнішньої інфокомунікаційної мережею.

Необхідні вимоги, що пред'являються до рівня агрегації:

- агрегація потоків трафіку, що надходять з рівня доступу;
- маршрутизація і агрегування маршрутів трафіку;
- маршрутизація багатоадресних потоків, з підтримкою QoS;
- дотримання пріоритетів обслуговування, політик QoS і ін.

Рівень агрегації забезпечує маршрутизацію, моніторинг і управління трафіком з поділом потоків за типами послуг і запитах користувачів, а також підтримку багаторівневого, багатофункціонального якості обслуговування.

Також у функції рівня агрегації входить підключення до мережі оператора різних сервісних служб, обладнання маршрутизації, контент-серверів та обладнання.

Необхідні вимоги, що пред'являються до рівня доступу:

- реалізація локальних мереж на абонентському рівні доступу;
- виконання мережевих правил і протоколів, пріоритетів обслуговування, необхідної якості обслуговування і ін.

Принципово важливим у концепції сучасної МСС є реалізація механізму локальних мереж для всіх абонентів на рівні абонентського доступу в мережу, що дозволяє чітко розмежувати права та умови кожного користувача в мережі, не заважаючи їхній спільній роботі, файлового обміну.

### 1.3 Обґрунтування показників функціонування високошвидкісної телекомунікаційної системи

Сучасна система управління характеризується високою інтенсивністю інформаційних потоків, причому вимоги до оперативності управління, своєчасного прийняття і доведення до виконавців рішень і завдань постійно підвищуються. Такі системи, як правило, є мультисервісними. МСС оперують

різноманітною інформацією (дані, файли, аудіовізуальна інформація). Це обумовлює істотну нестаціонарність потоків даних в мережі, інтенсивність яких в окремі періоди часу може істотно перевищувати середньостатистичні значення. Разом з тим, при проектуванні систем управління розподіленими технологічними і транспортними комплексами пред'являються дуже високі вимоги, як по продуктивності мережі, так і по надійності обслуговування абонентів.

Виконання зазначених вимог нерозривно пов'язане з необхідністю узагальнення накопиченого світового досвіду в сфері інфокомунікацій і залежить від ступеня впровадження передових інформаційних технологій, пов'язаних із передачею та обробкою даних.

Нові технології, дозволяють створювати ефективні, надійні і безпечні мережі будь-якого масштабу. Однак у реальному інформаційно-телекомунікаційній мережі забезпечити необхідний час реакції досить складно через високу інтенсивності та різноманітності потоків даних, необхідності проведення пошуку даних в сховищах і базах даних великої розмірності, складної взаємодії розподілених додатків, обмеженої швидкості ліній зв'язку, уповільнення швидкості взаємодії в шлюзах, які узгоджують неоднородні компоненти різних підмереж ІТС.

Вирішення зазначених проблем неможливе без створення і впровадження ефективних систем управління, які дозволяють підтримувати на заданому рівні мережеві ресурси, необхідні для надання якісних послуг. При цьому необхідно враховувати, що в сучасних мультисервісних мережах використовується складне багатофункціональне комунікаційне обладнання, яке забезпечує підтримку спеціальних механізмів контролю та управління якістю і реалізацію політики інформаційної безпеки.

Досить часто основні переваги сучасних систем управління - універсальність і багатофункціональність - стають в спеціалізованих системах і їх основними недоліками. Це пов'язано з необхідністю врахування специфіки роботи системи, яка вимагає відповідних налаштувань мережі та методів

управління її роботою. Тому класичні методи проектування ІТС, що враховують, головним чином, усереднені показники продуктивності, не можуть забезпечити ефективне використання мережевих ресурсів.

У зв'язку з цим актуальним є напрямок досліджень, пов'язане з розробкою нових інформаційних технологій управління розподілом мережевого трафіку, орієнтованих на рішення заданого набору прикладних задач і забезпечення необхідної якості їх вирішення при застосуванні універсальних багатофункціональних систем управління, зокрема інформаційно-телекомунікаційних мережах

Оптимальна архітектура МСС повинна забезпечувати ефективне виконання вимог, істотних для переданого в ній трафіку.

Користувачі DVB-T2 відносяться до групи, що вимагає гарантовану своєчасність доставки даних.

Характерними вимогами відео мовлення до можливостей і технічним параметрам МСС в першу чергу слід вважати:

- забезпечення високої пропускної спроможності;
- забезпечення своєчасності;
- забезпечення режиму багатоадресної передачі і мовлення;
- синхронізація зі звуковим потоком;
- стабільність каналу управління і передачі службової інформації.

#### 1.4 Мета та постановка задачі

Метою роботи є проведення аналізу показника своєчасності стандарту DVB-T2 при обслуговуванні трафіку в мережі на основі розробки імітаційного моделювання.

В роботі проводиться розрахунок параметрів, що впливають на своєчасність та відбувається розробка імітаційної моделі ланки зв'язку для більш глибоко дослідження параметру своєчасності стандарту DVB-T2 при

різних навантаженнях. Оцінка своєчасності обслуговування трафіку проводилася за показником - час затримки пакета в моделі вузла.

Відповідно до мети основними задачами є:

5. Обґрунтування дослідження телевізійного стандарту ефірного мовлення DVB-T2 та його особливості.
6. Дослідження фазової синхронізації інформаційного сигналу стандарту DVB-T2
7. Оцінка параметрів, що впливають на показник своєчасності в системі DVB-T2.
8. Розробка імітаційної моделі ланки зв'язку для дослідження показників своєчасності

Об'єктом дослідження роботи є дослідження показника своєчасності та параметрів, що на нього впливають в мультисервісних системах стандарту DVB-T2.

Предметом дослідження є розробка імітаційні моделі ланки мультисервісної системи стандарту DVB-T2.

Методом дослідження є розробка імітаційної моделі.

## 1.5 Висновки до розділу 1

У першому розділі було визначену мету дослідження, а саме: проведення аналізу показника своєчасності стандарту DVB-T2 при обслуговуванні трафіку в мережі на основі розробки імітаційного моделювання.

Визначено об'єкт дослідження роботи – це дослідження показника своєчасності та параметрів, що на нього впливають в мультисервісних системах стандарту DVB-T2.

Відповідно до об'єкту було визначено предмет роботи – це розробка імітаційні моделі ланки зв'язку.

Доведено актуальність дослідження стандарту DVB-T2 та розглянуто його основні параметри, такі як: збільшення кількості несучих ( режим 32K),

відмова від згорткових кодів та заміна їх на LDPC та BCH, додано новий режим модуляції 256QAM.

Було порівняно стандарт DVB-T2 з послідовником DVB-T, за такими параметрами як види кодування, швидкості передачі, модуляції.

Розглянуто поняття високошвидкісної мультисервісної системи вона повинна забезпечувати ефективне виконання вимог, істотних для переданого в ній трафіку. Розглянуто те, що досить часто основні переваги сучасних систем управління - універсальність і багатофункціональність - стають в спеціалізованих системах їх основними недоліками. Це пов'язано з необхідністю врахування специфіки роботи системи, яка вимагає відповідних налаштувань мережі та методів управління її роботою.

## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТАНДАРТУ DVB-T2 ЩОДО ПОКАЗНИКА СВОЄЧАСНОСТІ

### 2.1 Аналіз обробки цифрових потоків у стандарті DVB-T2

Стандарт DVB-T2 покликаний як мінімум на 30% поліпшити ємність мереж цифрового телебачення в порівнянні з DVB-T, при тій же інфраструктурі мережі і частотних ресурсах. Однак на практиці виграш виявляється не нижче 50%. DVB-T2 принципово відрізняється як архітектурою системного рівня (MAC-рівня), так і особливостями фізичного рівня.



Рисунок 2.1 Схема трансляції в мережі DVB-T2

На системному рівні принципова відмінність нового стандарту - це концепція магістральних потоків фізичного рівня (Physical Layer Pipe - PLP). Якщо стандарт DVB-T був призначений виключно для передачі пакетів MPEG-2, то мережу DVB-T2 здатна транслювати найрізноманітніші за своєю природою і структурі інформаційні потоки (Рисунок 2.1). Система DVB-T2 здатна передавати кілька незалежних мультимедійних потоків, кожен зі своєю схемою модуляції, швидкістю кодування і часовими інтервалами.



Виникає складна кадрова структура як на логічному, так і на фізичному рівні - нічого подібного в DVB-T не було. В цілому, загальна схема обробки сигналів в системі DVB- T2 істотно ускладнюється (Рисунок 2.2).

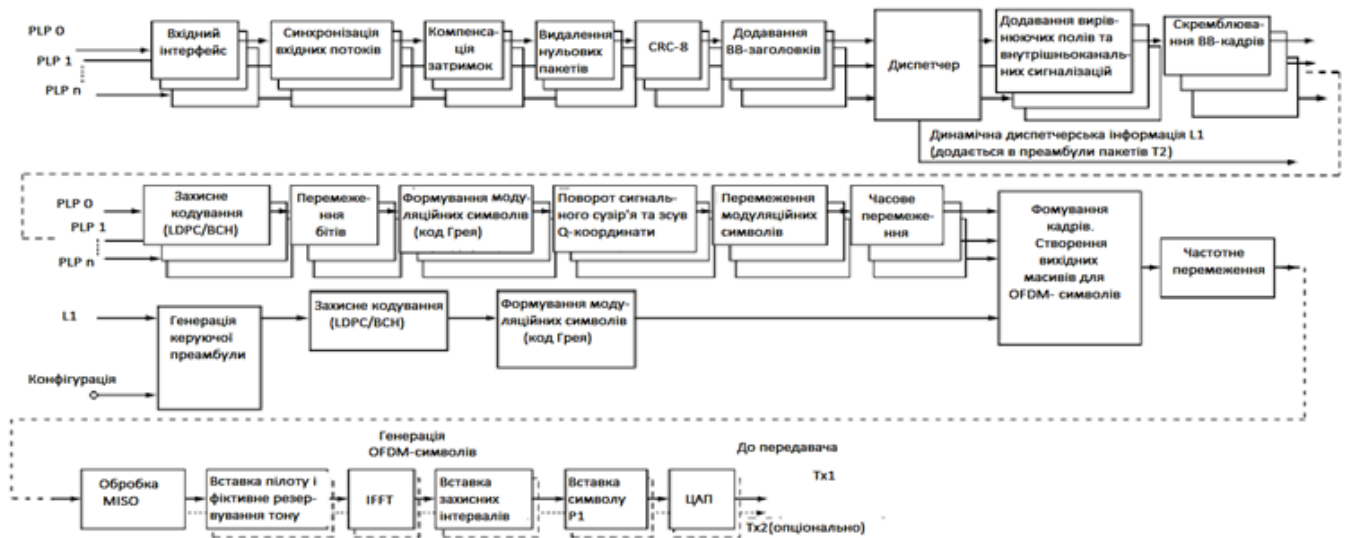


Рисунок 2.2 Спрощена схема обробки інформації в системі DVB- T2

У стандарті розрізняються три основних типи потоків:

- транспортний потік (TS)
- узагальнений інкапсульований потік (GSE)
- узагальнений безперервний потік (GCS).

Кожен потік являє собою послідовність користувальницьких пакетів (UP).

Транспортний потік - це послідовність пакетів фіксованої довжини (пакети) MPEG-2, 188 байт, перший байт - завжди синхробайт зі значенням 4716).

Потік GSE характеризується пакетами часу або фіксованої довжини, яка вказується в заголовках цих пакетів.

Потік GCS являє собою безперервний потік бітів. Реально - це або послідовність пакетів без вказівки їх довжини, іліпакети максимально можливої довжини 64 Кбіт.

Пакети кожного магістрального потоку об'єднуються в потокові кадри (BB-кадри) - окремо для кожного потоку.

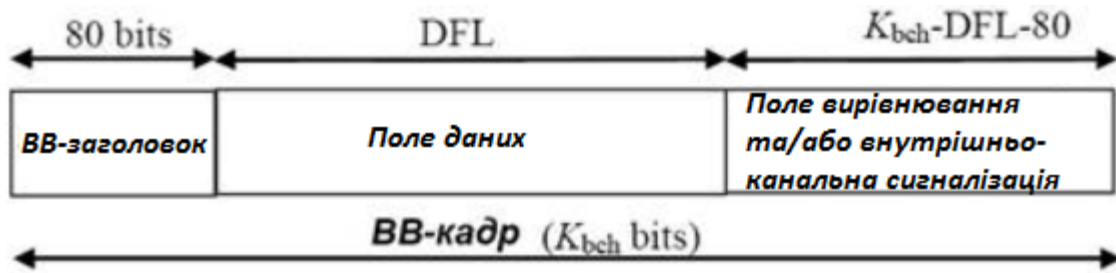


Рисунок 2.3 Структура потокового ВВ-кадра

ВВ-кадр містить ВВ-заголовок (80 біт), поле даних і поле вирівнювання. В останньому можна передавати дані внутріканальної сигналізації. У заголовку пакета міститься інформація про тип транспортного потоку, розмірі призначеного для користувача пакета (при необхідності) і всього поля даних, наявності режимів видалення порожніх пакетів

Стандарт DVB-T2 орієнтований на передачу телевізійних потоків, в яких найчастіше використовуються порожні пакети (для вирівнювання швидкості потоку), різного роду затримки і т.п. для збереження постійної швидкості потоку. Тому в DVB-T2 передбачені засоби видалення цієї надлишкової інформації, але з можливістю її відновлення на приймальному кінці. Крім того, опціонально передбачений і механізм згорткового кодування CRC-8 на рівні користувача пакетів.

Після скремблювання ВВ-кадр потрапляє в блок ВІСМ.

## 2.2 Особливості структури кадру DVB-T

Структура кадру DVB-T2 показана на Рисунок На верхньому рівні структура кадру складається з суперкадрів, які діляться на DVB-T2 кадри (далі - T2 кадри), що складаються з символів OFDM. Суперкадр може мати частину для майбутнього розширення кадру FEF.

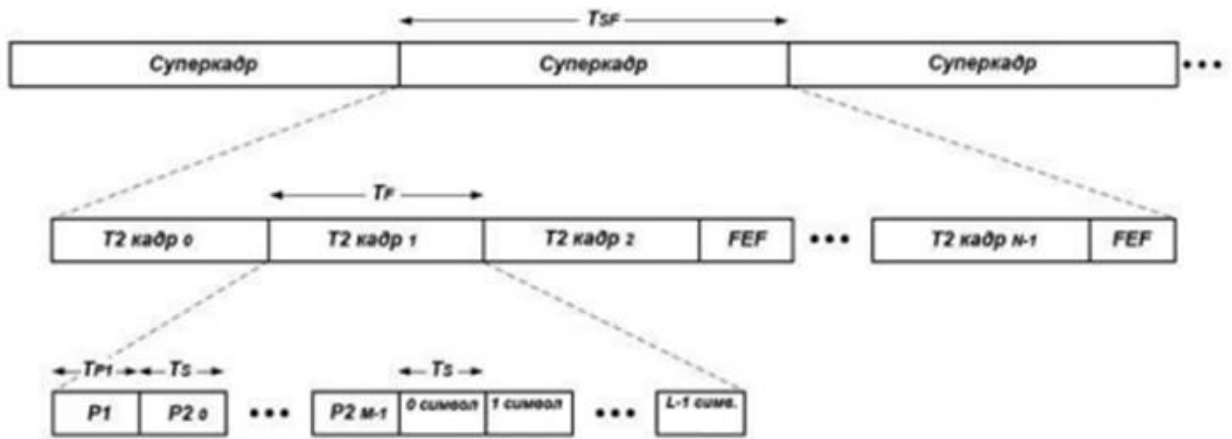


Рисунок 2.4 Структура кадра DVB-T2

Символ P1 служить для синхронізації, ідентифікації потоку DVB-T2, а також містить інформацію про T2 кадри, а саме, число номінальних несучих в OFDM (1k-32k) і формат передачі наступної за P1 преамбули P2 (Режими MISO або SISO).

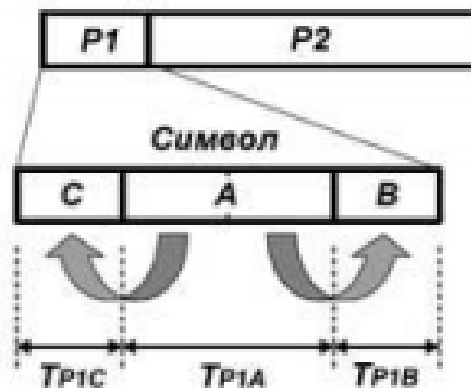


Рисунок 2.5 Структура символу P1

Вся інша інформація про T2 кадри (довжина, вид модуляції, швидкість кодування і т.п.) передається в преамбулі P2, яка може займати кілька OFDM-символів. Далі слід поле даних (інформаційні OFDM символи).

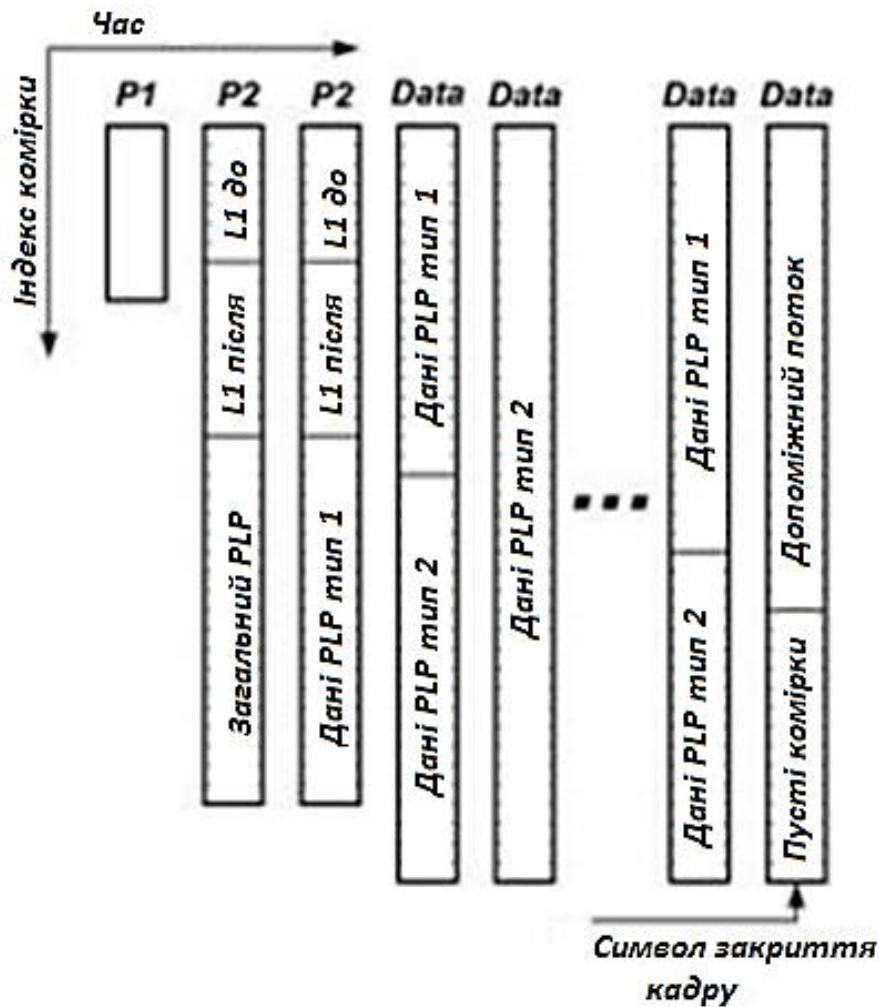


Рисунок 2.6 Структура об'єднання послуг в T2 кадрі

Замикає T2 кадр спеціальний символ закриття OFDM кадру завершальний OFDM символ.

Комерційні вимоги до DVB-T2 включали забезпечення різних рівнів завадостійкості для різних послуг. Це може забезпечуватися використанням різних схем модуляції і ступеня завадостійкого кодування. У DVB-T2 це досягається шляхом угруповання OFDM символів всередині кадру, так, що кожна послуга передається цільним блоком, що займає в кадрі певний слот.

Загальний PLP - це інформація, загальна для групи з кількох PLP (наприклад, таблиці програм і сервісів для кількох транспортних потоків).

Потоки PLP типу 1 в T2-кадрі не поділяються на фрагменти - іншими словами, в кожному T2-кадрі може бути тільки один фрагмент кожного PLP типу 1.

Потоки типу 2 можуть в межах T2-кадру розділятися на кілька фрагментів (від 2 до 6480).

### 2.3 Висновки до 2 розділу

У другому розділі було розглянуто особливості обробки вхідних сигналів у стандарті DVB-T2. Розглянуто три типи інформаційних потоків: транспортний потік, узагальнений інкапсульований потік, узагальнений безперервний потік. Також було розглянуто ВВ-кадр, його основні складові та для чого потрібні символи і яка в них міститься інформація. Було розглянуто структура об'єднання послуг в T2 кадрі та як це відбувається.

Даний розділ став підґрунтям для дослідження показника своєчасності та показав ключові моменти обробки вхідних сигналів.

## РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ СВОЄЧАСНОСТІ МСС СТАНДАРТУ DVB-T2

### 3.1 Особливості визначення показників своєчасності в МСС стандарту DVB-T2

В даний час зростання частки мультисервисного трафіку в мережах зв'язку, а також необхідність забезпечення вимог споживачів послуг зв'язку, роблять актуальними питання забезпечення якості обслуговування трафіку складної структури в вузлах мереж зв'язку

Взаємозв'язок ресурсів мережі і кількісної міри інформації виражається інформаційними можливостями мережі, такими як пропускна здатність і продуктивність, своєчасність.

Трафік в мультисервисної мережі є різнорідним і різнопріоритетним, тому ресурси мережі необхідно розподіляти відповідно до пріоритетних рангах.

На сьогоднішній день актуальною є задача перерозподілу ресурсів мультисервисної телекомунікаційної мережі в обсязі наданих мережею послуг. Метою перерозподілу ресурсів мережі виступає потреба своєчасного надання мережею всього спектра послуг в залежності до вимог до своєчасності. Своєчасність зв'язку досягається:

- Підтриманням постійної готовності засобів зв'язку до застосування;
- Чіткою організацією технічної служби на вузлах і лініях зв'язку;
- Правильним вибором засобів і способів передачі повідомлень з урахуванням їх терміновості, форми подання та обсягу;
- Наближенням кінцевих пристроїв зв'язку до робочих місць пунктів управління; впровадженням автоматизованих систем обміну інформацією;
- Організацією системи контролю за проходженням інформації і наданням переговорів у встановлені терміни;
- Здійсненням заходів захисту вузлів і ліній зв'язку від засобів ураження.

Імовірність своєчасної доставки пакетів є комплексним показником, що визначаються з урахуванням затримок і втрат пакетів різних класів якості. Як правило, в мережах зв'язку повідомленнями пред'являються вимоги ймовірності  $P_{\text{дс тр}}(r)$ , які в свою чергу дозволяють однозначно визначити вимоги пакетам.

$$P_{\text{дп тр}}(r) = q(r) \sqrt{P_{\text{дс тр}}(r)} \quad (3.1)$$

Де  $q(r) = \lceil L_c(r)/L(r) \rceil$  – середнє число пакетів в повідомленні  $r$ -го пріоритету, яке визначається середньою довжиною повідомлення  $L_c(r)$  і довжиною інформаційної частини пакету  $L(r)$   $r$ -го пріоритету.

Для забезпечення вимог, середній час затримки пакетів різних пріоритетів і вимоги, що пред'являються до них, повинні відповідати таким нерівностям:

$$t_z(r) \leq t_{z \text{ тр}}(r) \frac{1 - P_{\text{дп тр}}(r)}{P_{\text{дп тр}}(r)} \quad (3.2)$$

$$t_{\text{дс}}(r) \leq t_{\text{дс тр}}(r) \frac{1 - P_{\text{дс тр}}(r)}{P_{\text{дс тр}}(r)} \quad (3.3)$$

### 3.2 Фазова синхронізація інформаційного сигналу стандарту DVB-T2

Для синхронізації роботи передавачів в одночастотних мережах цифрового мовлення SFN при переході від локального транслювання використовується Глобальна система позиціонування GPS, що забезпечує високостабільну опорну частоту збудників передавачів 10 МГц і тактові імпульси сигнальних процесорів з частотою 1 Гц (1pps).

Важливою вимогою є забезпечення фазової синхронізації інформаційного сигналу (IC), тобто забезпечення рівності затримок IC від джерела інформації до антен передавачів.

Відсутність фазової синхронізації інформаційного сигналу передавачів SFN мережі цифрового ТБ мовлення стандарту DVB-T2 призводить до її

непрацездатності, оскільки затримки інформаційного сигналу при прийомі в цьому випадку можуть перевищувати захисний інтервал часу, який вибирається виходячи з топології розміщення передавачів. Розглянемо основні види затримок ІС.

Мережева затримка (Network Delay) - це час, необхідний для проходження ІС від формувача транспортних потоків T2-MI, центру мультиплексування, до входу збудника. У структурі транспортного потоку T2-MI є символи синхронізації з інформацією T2 MIP, що дозволяє оцінити мережеву затримку, яка залежить від використовуваного тракту передачі.

Затримка при обробці (Processing Delay) - це час обробки ІС в модуляторі передавача. Затримка залежить від технічної реалізації модулятора і від параметрів сигналу, що передається.

Динамічна затримка (Dynamic Delay) - час, на яке штучним чином затримується обробка ІС для досягнення необхідного часу передачі. Оцінюється мікро контролером збудника на підставі часу обробки сигналу в модуляторі. Встановлюється в автоматичному режимі.

Загальна затримка (Total Delay) - це час є сумою значень затримки при обробці і динамічної затримки.

Статична затримка (Static Delay) - позитивне або негативне зміщення, яке використовується для компенсації розбіжностей між передавальними системами різних виробників. В даному прикладі статична затримка негативна. Встановлюється в ручному режимі.

На Рисунок показана також максимальна затримка (Maximum Delay) - час, необхідний ІС для проходження від Центру мультиплексування до антени при автономній роботі передавача.



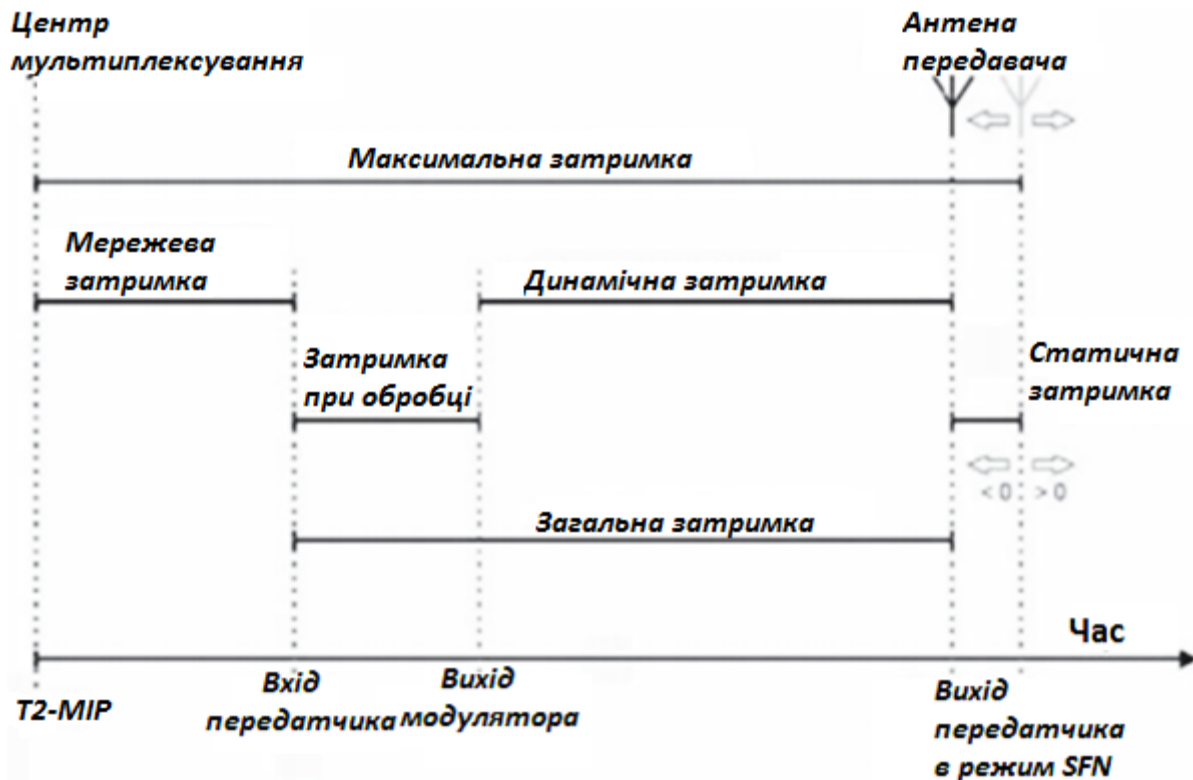


Рисунок 3.1 Діаграми затримок інформаційного сигналу в SFN мережах цифрового телевізійного мовлення

Слід зазначити, що механізм, що забезпечує своєчасність інформаційного сигналу, випромінюваного передавачами синхронної мережі, застосований в стандарті DVB-T2, відрізняється від механізму, застосованого в DVB-T.

Системною особливістю стандарту DVB-T2, дуже корисною для використання в синхронних мережах, є застосування концепції побудови модулятора у вигляді пристрою, розподіленого в просторі по передавачів синхронної мережі з використанням так званого інтерфейсу модулятора T2-MI. Відповідно до цієї концепції в модуляторі виділяється спеціальний блок, так званий «T2-шлюз», в якому централізовано, на головній станції синхронної мережі, виконуються операції по адаптації потоку і адаптація режиму, передбачені стандартом, а також операції з планування кадру і за розподілом пропускної спроможності системи по каналах фізичного рівня.

У цьому блоці також може формуватися інформація по синхронізації мережі (аналог MIP-пакетів в DVB-T). На виході блоку формується інтерфейс

модулятора «T2-MI» - послідовність T2-MI пакетів, які по лініях прив'язки розподіляються по власне модулятора передавачів синхронної мережі так, що кожен передавач може однозначно створити ідентичний ефірний сигнал з прив'язкою його частотно-часових параметрів до єдиної системи синхронізації синхронної мережі.

Таке рішення дозволяє не тільки економити на апаратурній реалізації, а й будувати складні синхронні мережі, коли ведучий передавач виступає в якості джерела р розподілу для окремих одночастотних мереж на іншій частоті, і вся інформація, необхідна для створення ідентичних синхронізованих за часом сигналів, повинна бути перенесена по ефіру.

Концепція T2-шлюзу дозволяє також здійснити вставку регіонального або місцевого контентів в мережу розподілу при наявності відповідної пропускної здатності T2-MI потоку і при використанні одного або декількох виділених каналів фізичного рівня. Це реалізується шляхом заміни пакетів, що відносяться до цих каналів, на місцевий контент, не зачіпаючи все інше, що міститься в T2-MI або DVB-T2 конфігурації.

Потік пакетів T2-MI повинен поширюватися по лініях прив'язки. Для цього на виході T2-шлюзу він повинен бути інкапсульований до відповідних нижніх шарів протоколу. T2-MI специфікація описує спосіб перенесення пакетів в транспортному потоці MPEG.

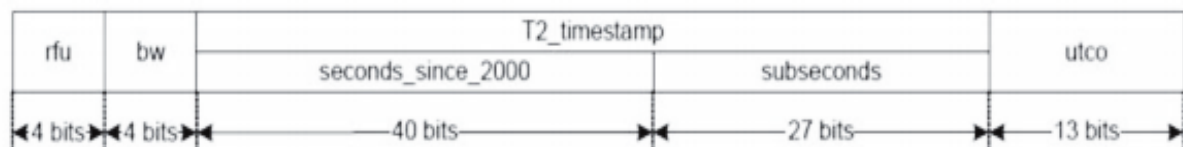


Рисунок 3.2 Пакети потоку T2 MI

В DVB T2 відсутні SFN-адаптер і пакети ініціалізації суперкадра MIP. У зв'язку з цим методи синхронізації в одночастотній мережі стандартами та DVB-T, неприйнятні для SFN мереж стандарту DVB T2.

Тут необхідно звернути увагу на те, що аббревіатура MIP в першому і другому поколіннях DVB утворена початковими буквами різних слів і, відповідно, має різний фізичний зміст. З огляду на принципові зміни в методах синхронізації передавачів стандартів DVB T і DVB T2, консорціум DVB опублікував документ, присвячений опису інтерфейсу T2 MI.

Пакети потоку T2 MI (Рисунок 3.2), призначені для синхронізації часу випромінювання передавачів, мають мітку часу T2\_timestamp. Можливі два механізми формування мітки: абсолютної seconds\_since\_2000 і відносної subseconds.

Для формування абсолютної мітки призначене поле seconds\_since\_2000 (40 біт). Абсолютна мітка містить кількість секунд, що пройшли з початку 2000 року.

У разі, коли поле seconds\_since\_2000 має значення 0000000000<sub>16</sub>, формується відносна мітка subseconds (27 біт)

Мітка часу subseconds задається в формувателі транспортного потоку T2 MI (T2 шлюзі). Значення мітки після приходу чергового імпульсу 1pps дорівнює кількості субсекундних одиниць помноженому на Tsub.

Тут  $T_{sub} = 1/64$  мкс для стандартного каналу 8 мГц. Значення відносної мітки, що не перевищує однієї секунди, вибирається з урахуванням мережеских затримок і часу затримки в модуляторі.

Поле rfu (4 біта) зарезервовано для майбутнього використання.

Поле bw (4 біта) вказує на смугу пропускання каналу. В даному випадку 416, що відповідає стандартному каналу 8 мГц.

Поле utco (13 біт) задає зміщення (в секундах) між поточним часом і часом за Гринвічем. Використовується тільки при формуванні абсолютної позначки.

### 3.3 Дослідження показника своєчасності імітаційної моделі обслуговування потоку з розподілом Парето

Розвиток телекомунікаційних систем і зростання обсягу мультимедійного трафіку, що передається через них, актуалізують питання забезпечення своєчасності і якості обслуговування мультимедійного трафіку. Аналіз реальних трас передачі мультимедійного трафіку, показує, що мультимедійний трафік має властивість структурної складності. Наявність цієї властивості веде до зниження своєчасності обслуговування трафіку в вузлах мережі.

Під трафіком зі складною структурою розглядається трафік, у якого коефіцієнт варіації  $c_\tau$  інтервалу часу між черговими пакетами має значення  $c_\tau > 1$ . Коефіцієнт варіації  $c_\tau$  - дисперсійна характеристика трафіку, що визначає його структурну складність, і обчислюється відповідно до виразу:

$$c_\tau = \sigma_\tau / m_\tau \quad (3.4)$$

$\tau$  - інтервал часу між черговими пакетами трафіку;

$m_\tau$  - математичне очікування значень інтервалу часу між надходженням чергових пакетів трафіку;

$\sigma_\tau$  - середньоквадратичне відхилення значень інтервалу часу між надходженням чергових пакетів трафіку.

Мультисервісний трафік, циркулюючому в СС, притаманні нестационарні властивості, які моделюються комунікаційними потоками зі складною структурою, що володіють властивістю самоподібності.

Широке застосування в якості моделі реального трафіку для розрахунків показників якості його обслуговування отримав потік з пуассоновським розподілом, який не враховує властивість самоподібності. Таким чином, для отримання більш точних оцінок показників якості обслуговування реального трафіку, що циркулює в реальних СС, необхідна розробка адекватних моделей, які б враховували властивість самоподібності.

Аналіз робіт [4-6] показав, що в якості моделі реального трафіку, що дозволяє більш адекватно описати властивість самоподібності, використовується потік з Парето-розподілом значення інтервалу часу між надходженням чергових заявок.

Під своєчасністю обслуговування трафіку в вузлі мережі будемо розуміти час від моменту приходу початку пакета в вузол, до моменту покидання пакетом вузла. Це час визначається затримкою при очікуванні пакета в буфері вузла і часом його обробки в комутаційному пристрої.

При цьому час обробки в комутаційному пристрої визначається обсягом пакету і, як правило, для цього часу приймається допущення про експоненційному законі його розподілу.

Ефективне вирішення завдань маршрутизації, своєчасної передачі інформації, критичною до затримок, а також мультимедійної інформації неможливо вирішувати без урахування властивостей структурної складності трафіку. Таким чином, необхідно враховувати вплив структури трафіку на його передачу по каналах і обробку в вузлах мережі.

Проведення досліджень своєчасності обслуговування складного трафіку без введення додаткових обмежень, пов'язаних з пошуком аналітичних рішень, які могли б слугувати своєрідним еталоном. У зв'язку з цим в якості дослідницького методичного апарату було вибрано імітаційне моделювання, а в якості інструменту дослідження - середовище імітаційного моделювання GPSS World. При цьому результати дослідження на основі імітаційного моделювання дозволяють перевірити достовірність результатів раніше проведених досліджень, заснованих на аналітичних методах оцінки QoS в СМО, а також встановити межі застосування цих методів для розрахунку показників обслуговування складного трафіку.

В якості моделі складного трафіку використовувався потік, в якому час між приходом заявок має Парето-розподіл. Вибір Парето-розподілу в якості моделі складного трафіку обумовлено аналізом джерел досліджень [4-6].

Аналіз досліджень показав, що при використанні потоку з розподілом Парето в якості моделі трафіку зі складною структурою ( $c_\tau > 1$ ), найбільш актуальний діапазон значень параметра форми  $\alpha \in (1; 2]$ . Дані значення параметра  $\alpha$  розподілу Парето дають можливість окреслити складну структуру трафіку за рахунок формування великих значень СКВ інтервалу часу між моментами надходження чергових заявок потоку.

По-перше, складний трафік з коефіцієнтом варіації  $c_\tau > 1$  може бути представлений моделю потоку з Парето розподілом.

$$F(\tau) = 1 - \left(\frac{k}{\tau}\right)^\alpha, k > 0, \alpha > 0, \tau > k, \quad (3.5)$$

де  $\tau$  - інтервал часу між надходженням чергових заявок в потоці з розподілом Парето;

$k$  - коефіцієнт масштабу;

$\alpha$  - параметр форми розподілу Парето.

Значення статистичних характеристик МОЧ і СКВ розподілу Парето визначаються виразами

$$m_{\tau \text{ пар}}^{\text{ан}} = \frac{\alpha \cdot k}{\alpha - 1}, \forall \alpha > 1; \quad (3.6)$$

$$\sigma_{\tau \text{ пар}}^{\text{ан}} = \sqrt{D_{\tau \text{ пар}}}; D_{\tau \text{ пар}} = \left(\frac{k}{\alpha - 1}\right)^2 \cdot \frac{\alpha}{\alpha - 2}, \forall \alpha > 2. \quad (3.7)$$

При проведенні моделювання основним показником структурної складності потоку обраний коефіцієнт варіації ст. Також в роботах [4-6] вказується, що показником наявності у трафіку властивості самоподібності, яке, в тому числі, вказує на наявність у трафіку структурної складності, є коефіцієнт Херста. За одиницю модельного часу прийнятий один такт обслуговування однієї заявки досліджуваного потоку.

У якості першої моделі трафіку зі складною структурою використовується потік з Парето-розподілом значень інтервалу часу між надходженням чергових заявок. Змінними параметрами є значення параметра

форми  $\alpha$ , коефіцієнта масштабу  $k$  розподілу Парето, а також завантаження пристрою обслуговування  $\rho$ .

У програмному середовищі GPSS World при проведенні імітаційного моделювання трафіку зі складною структурою замість вбудованого генератора заявок з Парето-розподілом був використаний генератор заявок, запропонований в роботі [1], для отримання більш точних значень характеристик МОЧ і СКВ потоку з розподілом Парето, використовуваного в якості моделі. Генератор був доповнений значенням коефіцієнта масштабу  $k$ .

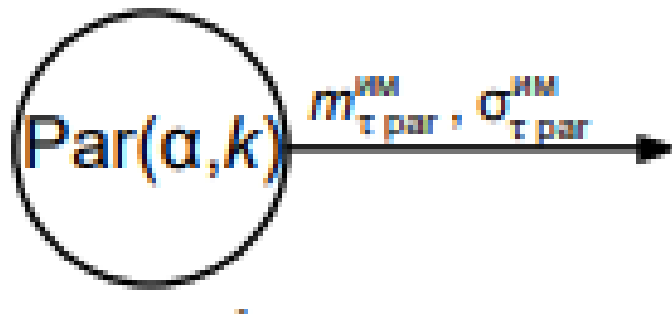


Рисунок 3.3 Генератор трафіку з розподілом Парето

Значення статистичних характеристик МОЧ і СКВ потоку з розподілом Парето, отримані в результаті роботи імітаційної моделі, а також значення статистичних характеристик МОЧ і СКО, розраховані за допомогою виразів (3, 4), в залежності від зміни значень параметра форми  $\alpha \in (1; 2]$  при фіксованому значенні коефіцієнта масштабу  $k = 1$ , представлені в табл. 1 і на Рисунок 2, 3.

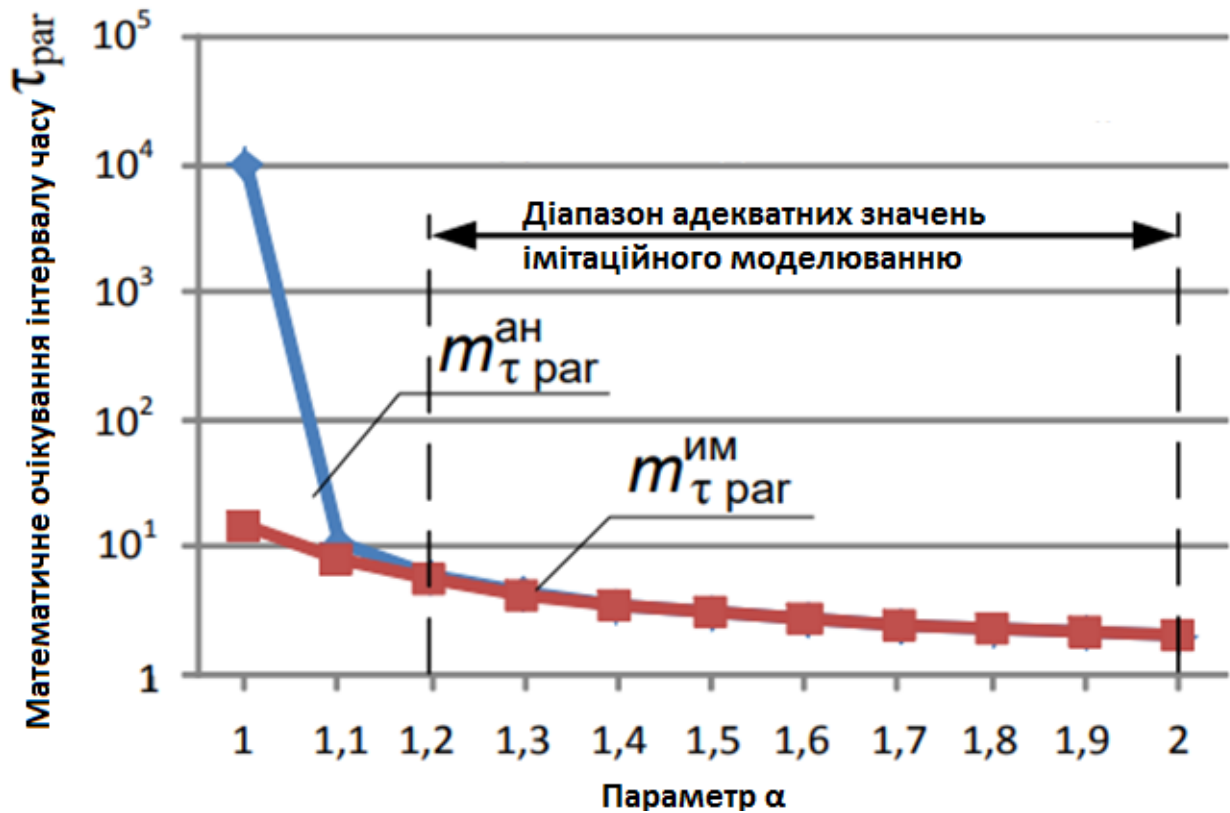


Рисунок 3.4 Залежність значень МОЖ, отриманих при проведенні імітаційного моделювання і аналітично, від значень параметра форми  $\alpha$

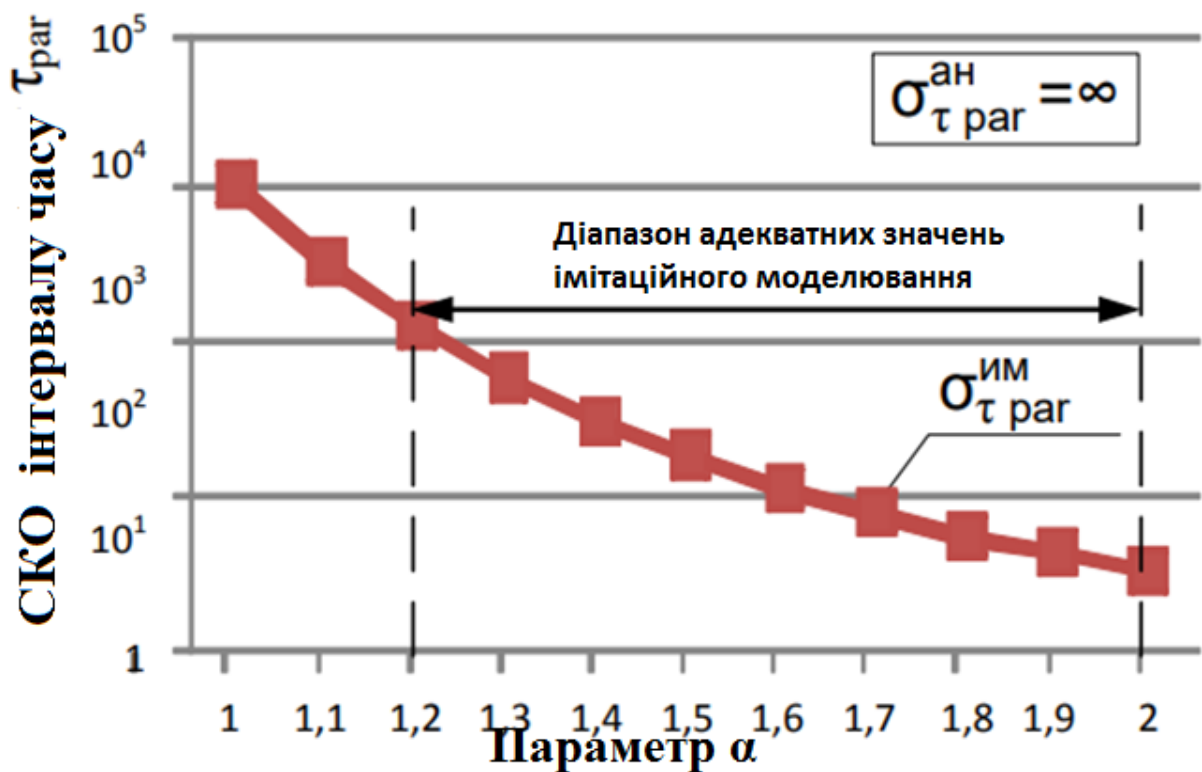


Рисунок 3.5 Залежність значень СКО, отриманих при проведенні імітаційного моделювання, від значень параметра форми  $\alpha$



Таким чином, можна зробити висновок, що використання розподілу Парето при проведенні імітаційного моделювання трафіку зі складною структурою обмежена адекватністю отриманих при моделюванні оцінок МОЧ і СКВ аналітичних розрахунків. У зв'язку з вищевказаним, використання в імітаційному моделюванні трафіку зі складною структурою розподілу Парето пропонується обмежити діапазон параметра  $\alpha \in [1,2; 2]$

При аналізі результатів моделювання було виявлено, що отримані значення коефіцієнта варіації  $c_{\tau \text{ пар}}$  мають експонентну залежність щодо значень параметра форми  $\alpha$  при  $\alpha \in [1,2; 2]$ . [4]

Залежність між коефіцієнтом варіації  $c_{\tau}$  і параметром  $\alpha$  розподілу Парето в діапазоні  $\alpha \in [1,2; 2]$  з похибкою до 3,27% може бути апроксимована виразом:

$$c_{\tau}(\alpha) = 1,41 \cdot 10^4 \cdot e^{-5,384\alpha} + 1,52, \quad (3.8)$$

$$\alpha = \frac{1}{5,384} \ln \left( \frac{c_{\tau} + 1,52}{1,41 \cdot 10^4} \right) \quad (3.9)$$

Оцінки значень коефіцієнта варіації, отримані в результаті імітаційного моделювання  $c_{\tau \text{ пар}}$ , а також значення  $c_{\tau \text{ АППР}}(\alpha)$ , отримані відповідно до функції апроксимації (3.8), представлені в табл

Таблиця 3.1 Результати оцінки значень коефіцієнтів варіації, отримані в результаті імітаційного моделювання  $c_{\tau \text{ пар}}$  і відповідно до функції апроксимації  $c_{\tau \text{ АППР}}(\alpha)$

Значення коефіцієнтів варіації	Параметр форми $\alpha$ розподілу Парето								
	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
в результаті імітаційного моделювання $c_{\tau \text{ пар}}$	23,67	14,18	8,98	6,01	4,25	3,14	2,44	1,95	1,62
по функції апроксимації $c_{\tau \text{ АППР}}(\alpha)$	23,566	14,388	9,03	5,904	4,08	3,014	2,392	2,03	1,817

Графік отриманих даних з таблиці 3.1:

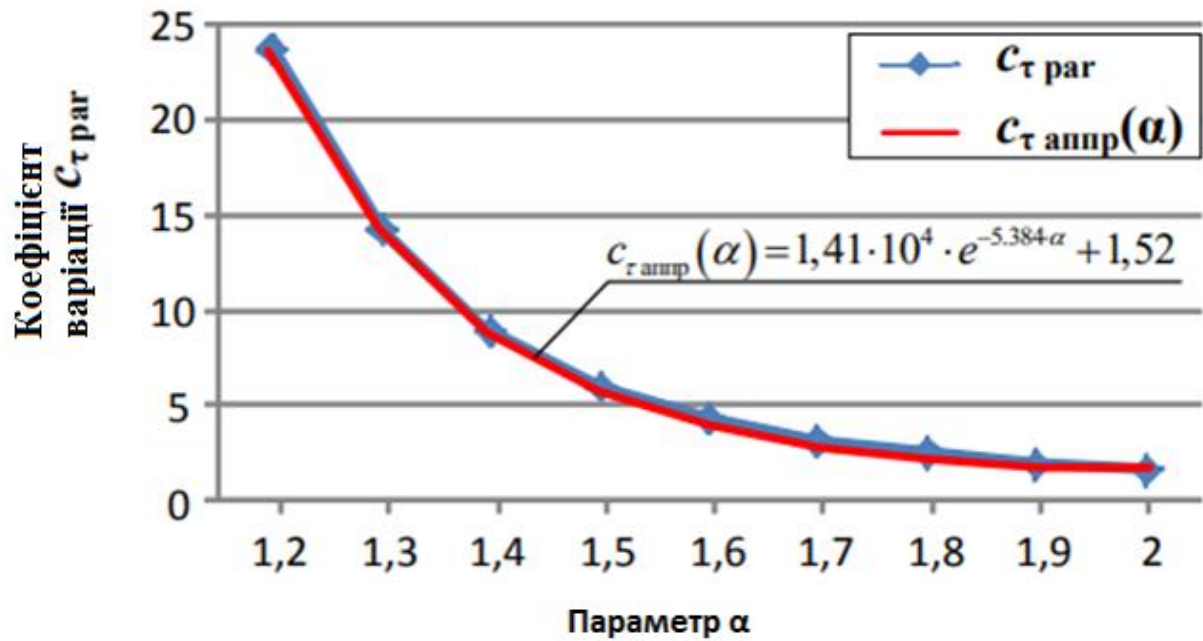


Рисунок 3.6 Залежність значень коефіцієнтів варіації, отриманих в результаті моделювання  $c_{\tau \text{ пар}}$  і по функції апроксимації  $c_{\tau \text{ АППР}}(\alpha)$ , від значень параметра форми  $\alpha \in [1,2; 2]$  розподілу Парето

В роботі [3], було визначено, що коефіцієнт Херста для мультисервісного трафіку, що циркулює в реальних мультисервісних системах, знаходиться в діапазоні значень  $H \in [0,75; 0,95]$ .

Для дослідження часу затримки  $T_{\text{зад пар}}$  при обслуговуванні потоку заявок з розподілом Парето (моделює трафік зі складною структурою ( $c_{\tau} > 1$ )) вузловим обладнанням СС з експоненціальним часом обслуговування була розроблена імітаційна модель типу Ра / М / 1 (Рисунок 3.7). Текст моделі, складений в середовищі GPSS World, представлений в додатку

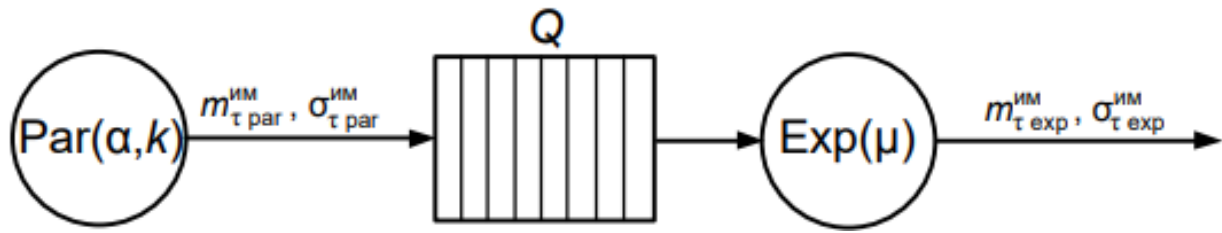


Рисунок 3.7 Імітаційна модель  $Pa / M / 1$  обслуговування трафіку з розподілом Парето

При проведенні імітаційного моделювання були введені такі обмеження:

- 1) обсяг буфера  $Q = \infty$ ;
- 2) час обробки заявки в пристрої обслуговування  $T_{обсл} = 1 / \mu = 1$ ;
- 3) значення коефіцієнта масштабу розподілу Парето  $k \in [0,1; 1]$ ;
- 4) значення параметра форми розподілу Парето  $\alpha \in [1,2; 2]$ .

Для оцінки рівня зниження своєчасності обслуговування трафіку в вузлах СС за показником часу затримки  $T_{зад\ par}$  розроблена імітаційна модель  $Pa / M / 1$  (Рисунок 6, додаток 3) була досліджена на масштабованість при різних значеннях параметрів  $\alpha \in [1,2; 2]$  і  $k \in [0,1; 1]$ .

Для оцінки рівня зниження своєчасності обслуговування трафіку в вузлах СС за показником часу затримки  $T_{зад\ par}$  розроблена імітаційна модель  $Pa / M / 1$  (Рисунок 6, додаток 3) була досліджена на масштабованість при різних значеннях параметрів  $\alpha \in [1,2; 2]$  і  $k \in [0,1; 1]$ . Результати дослідження представлені в табл.

Таблиця 3.2 Результати дослідження оцінки рівня зниження своєчасності обслуговування трафіку в вузлах СС за показником часу затримки  $T_{\text{зд}} \text{ рг}$

Вхідні параметри	$T_{\text{обс}}=1$											
	Коефіцієнт варіації $c_v$	23,6	14,17	8,97	6	4,25	3,15	2,44	1,95	1,62		
	Коефіцієнт Херста $H$	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5		
	Параметр форми $\alpha$	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2		
Вихідні характеристики	Коефіцієнт масштабу $k$	1	$m_t^{\text{нов}}$	6	4,33	3,5	3	2,67	2,43	2,25	2,11	2
			$T_{\text{здл екр}}$	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
			$T_{\text{здл рг}}$	1,31	1,34	1,37	1,4	1,43	1,47	1,5	1,53	1,57
		0,9	$m_t^{\text{нов}}$	5,4	3,9	3,15	2,7	2,4	2,185	2,025	1,9	1,8
			$T_{\text{здл екр}}$	1,225	1,34	1,46	1,59	1,71	1,84	1,975	2,111	2,25
			$T_{\text{здл рг}}$	1,4	1,44	1,48	1,53	1,57	1,62	1,68	1,73	1,78
		0,8	$m_t^{\text{нов}}$	4,8	3,467	2,8	2,4	2,13	1,94	1,8	1,69	1,6
			$T_{\text{здл екр}}$	1,26	1,4	1,55	1,71	1,88	2,06	2,25	2,45	2,67
			$T_{\text{здл рг}}$	1,52	1,59	1,65	1,72	1,8	1,88	1,97	2,1	2,2
		0,7	$m_t^{\text{нов}}$	4,2	3	2,45	2,1	1,867	1,7	1,575	1,48	1,4
			$T_{\text{здл екр}}$	1,31	1,5	1,69	1,91	2,153	2,43	2,74	3,08	3,5
			$T_{\text{здл рг}}$	1,72	1,82	1,94	2,06	2,2	2,36	2,54	2,74	2,98
		0,6	$m_t^{\text{нов}}$	3,6	2,6	2,1	1,8	1,6	1,48	1,35	1,267	1,2
			$T_{\text{здл екр}}$	1,38	1,62	1,91	2,25	2,67	3,085	3,85	4,73	5,96
			$T_{\text{здл рг}}$	2,06	2,25	2,47	2,74	3,06	3,47	3,74	4,7	5,68
		0,5	$m_t^{\text{нов}}$	3	2,17	1,75	1,5	1,33	1,21	1,125	1,055	1
			$T_{\text{здл екр}}$	1,5	1,85	2,33	3	4,02	5,73	8,94	18,7	724
			$T_{\text{здл рг}}$	2,8	3,2	3,77	4,6	5,9	8	12,5	26,2	419,2
		0,4	$m_t^{\text{нов}}$	2,4	1,73	1,4	1,2	1,067	0,97	0,9	0,84	0,8
			$T_{\text{здл екр}}$	1,71	2,37	3,5	5,96	15,8	14700	49700	79700	99700
			$T_{\text{здл рг}}$	4,58	6,2	9,2	17	55	13600	49000	76700	99000
		0,3	$m_t^{\text{нов}}$	1,8	1,3	1,05	0,9	0,8	0,728	0,675	0,63	0,6
			$T_{\text{здл екр}}$	2,25	1,74	19	49700	99700	135600	162100	184600	199600
			$T_{\text{здл рг}}$	14,1	37	499	51200	99000	135000	161600	182400	199000
		0,2	$m_t^{\text{нов}}$	1,2	0,86	0,7	0,6	0,53	0,48	0,485	0,45	0,4
			$T_{\text{здл екр}}$	5,7	69700	149600	199600	234600	259600	257000	274600	299500
			$T_{\text{здл рг}}$	967	78700	153000	200600	233000	256500	274000	288000	299000
		0,1	$m_t^{\text{нов}}$	0,6	0,43	0,35	0,3	0,267	0,243	0,225	0,21	0,2
			$T_{\text{здл екр}}$	199600	284600	324600	349500	366000	378000	387000	395000	399500
			$T_{\text{здл рг}}$	224000	290000	326000	350000	366000	378000	387000	395000	400000



У табл. 3.3 значення часу затримки заявок потоку з розподілом Парето  $T_{\text{зад пар}}$ , представлені в нормованому вигляді по відношенню до значень часу затримки заявок потоку з експоненціальним розподілом  $T_{\text{зад пар}}$   $T_{\text{зад exp}}$  (значення  $T_{\text{зад пар}}$  і  $T_{\text{зад exp}}$  беруться з табл. 3.2), при однаковому часу обслуговування  $T_{\text{обсл}} = 1$  заявок для цих потоків.

Таблиця 3.3 Кількісна оцінка рівня зниження своєчасності обслуговування трафіку зі складною структурою по відношенню до трафіку з експоненціальним розподілом за показником часу затримки  $T_{\text{зад}}$

Вихідні характеристики									
Коефіцієнт масштабу $k$									
Параметр форми $\alpha$									
1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
$m^*_{\text{пар}}/T_{\text{обсл}}$	$m^*_{\text{пар}}/T_{\text{обсл}}$	$m^*_{\text{пар}}/T_{\text{обсл}}$	$m^*_{\text{пар}}/T_{\text{обсл}}$	$m^*_{\text{пар}}/T_{\text{обсл}}$	$m^*_{\text{пар}}/T_{\text{обсл}}$	$m^*_{\text{пар}}/T_{\text{обсл}}$	$m^*_{\text{пар}}/T_{\text{обсл}}$	$m^*_{\text{пар}}/T_{\text{обсл}}$	$m^*_{\text{пар}}/T_{\text{обсл}}$
6	5.4	4.8	4.2	3.6	3	2.4	1.8	1.2	0.6
1.091667	1.142857	1.206349	1.312977	1.492754	1.866667	2.679363	6.266667	169.6491	1.122344
1.030769	1.074627	1.135714	1.213333	1.388889	1.72973	2.616034	21.26437	1.129125	1.018974
0.978571	1.013699	1.064516	1.147929	1.293194	1.618026	2.62871	26.2616	1.022727	1.004313
0.933333	0.962264	1.005848	1.07834	1.217778	1.533333	2.852349	1.030181	1.00501	1.001431
0.89375	0.918129	0.957447	1.02183	1.146667	1.467662	3.481013	0.992979	0.99318	1
0.864706	0.880435	0.912621	0.971193	1.124797	1.396161	0.92517	0.995575	0.988059	0.267
0.833333	0.850633	0.875556	0.927007	0.971429	1.21	0.85915	0.995575	0.988059	0.243
0.805263	0.819517	0.857143	0.88961	0.993658	1.085	0.962369	0.995575	1.066148	0.225
0.785	0.791111	0.82397	0.851429	0.95302	1	0.92979	0.995575	1.048798	0.21
2	1.8	1.6	1.4	1.2	0.579006	0.8	0.995575	0.998331	1.001252

Значення часу затримки  $T_{\text{зад exp}}$  для потоку з експоненціальним розподілом отримані при дослідженні імітаційної моделі  $M / M / 1$  (додатку Б). При проведенні моделювання були введені обмеження:

- 1) обсяг буфера  $Q = \infty$ ;
- 2) час обробки заявки в пристрої обслуговування  $T_{\text{обсл}} = 1 / \mu = 1$ ;
- 3) значення МОЧ інтервалу часу між надходженням заявок потоку з експоненціальним розподілом рівні і відповідним значенням МОЧ інтервалу часу між надходженням заявок потоку з розподілом Парето.

Аналіз результатів моделювання в частині співвідношення часів затримок  $T_{\text{зад пар}} / T_{\text{зад exp}}$  дозволив визначити три субобласті  $D_1 \in D$ ,  $D_2 \in D$ ,  $D_3 \in D$  з різними значеннями параметра  $\alpha$  і коефіцієнта  $k$

1. Область  $D_1 = \{\alpha \in [1,4; 2], k \in [0,6; 1]\}$  - область, в якій відношення часу затримок заявок потоків з Парето- і експоненціальним розподілами (значення часу затримки для потоків розраховані в моделях  $Pa / M / 1$  і  $M / M / 1$  відповідно) завжди має значення  $(T_{\text{зад пар}} / T_{\text{зад exp}}) < 1$ . В області  $D_1$  час затримки заявок потоку з Парето-розподілом має значення  $T_{\text{зад пар}} \in [1, 37; 5,68]$ , які завжди менше значень часу затримки заявок потоку з експоненціальним розподілом  $T_{\text{зад exp}} \in [1,4; 5,96]$ . Це говорить про те, що при будь-яких значеннях  $(\alpha, k) \in D_1$  трафік з розподілом Парето обслуговується з більш високим ступенем своєчасності, ніж експонентний.

2. Область  $D_2 = \{\alpha \in [1,2; 1,9], k \in [0,2; 1]\}$  - область, в якій відношення часу затримок заявок потоків з Парето- і експоненціальним розподілами (значення часу затримки для потоків розраховані в моделях  $Pa / M / 1$  і  $M / M / 1$  відповідно). У даній області  $D_2$  час затримки заявок потоку з Парето-розподілом має значення  $T_{\text{зад пар}} \in [1,31; 967]$ , які завжди більше значень часу затримки заявок потоку з експоненціальним розподілом  $T_{\text{зад exp}} \in [1,2; 19]$ . Причому  $k < 0,5$ , відношення часів затримок заявок потоків має значення  $(T_{\text{зад пар}} / T_{\text{зад exp}}) < 2$ , що говорить про більш ніж двократне зниження часу обробки потоку з розподілом Парето в порівнянні з обслуговуванням експоненціального потоку

3. Область  $D_3 = \{\alpha \in [1,2; 1,9], k \in [0,2; 1]\}$  - область, в якій відношення часів затримок заявок потоків з Парето- і експоненціальним розподілами в моделях  $Pa / M / 1$  і  $M / M / 1$  відповідно, має значення  $0,55 < (T_{\text{зад пар}}/T_{\text{зад exp}}) < 1,2$ . Аналіз значень відносин часів затримок потоків  $T_{\text{зад пар}}$  та  $T_{\text{зад exp}}$  в областях  $D_1$  і  $D_3$  показав, що вони мають практично рівні значення. Однак в області  $D_3$  в порівнянні з областю  $D_1$  час затримки заявок потоків з експоненціальним і Парето-розподілом має великі на кілька порядків значення  $T_{\text{зад exp}} \in [724; 4 \cdot 10^5]$  і  $T_{\text{зад пар}} \in (419; 4 \cdot 10^5]$ . Область  $D_3$  відповідає перевантаженню пристрою обслуговування.

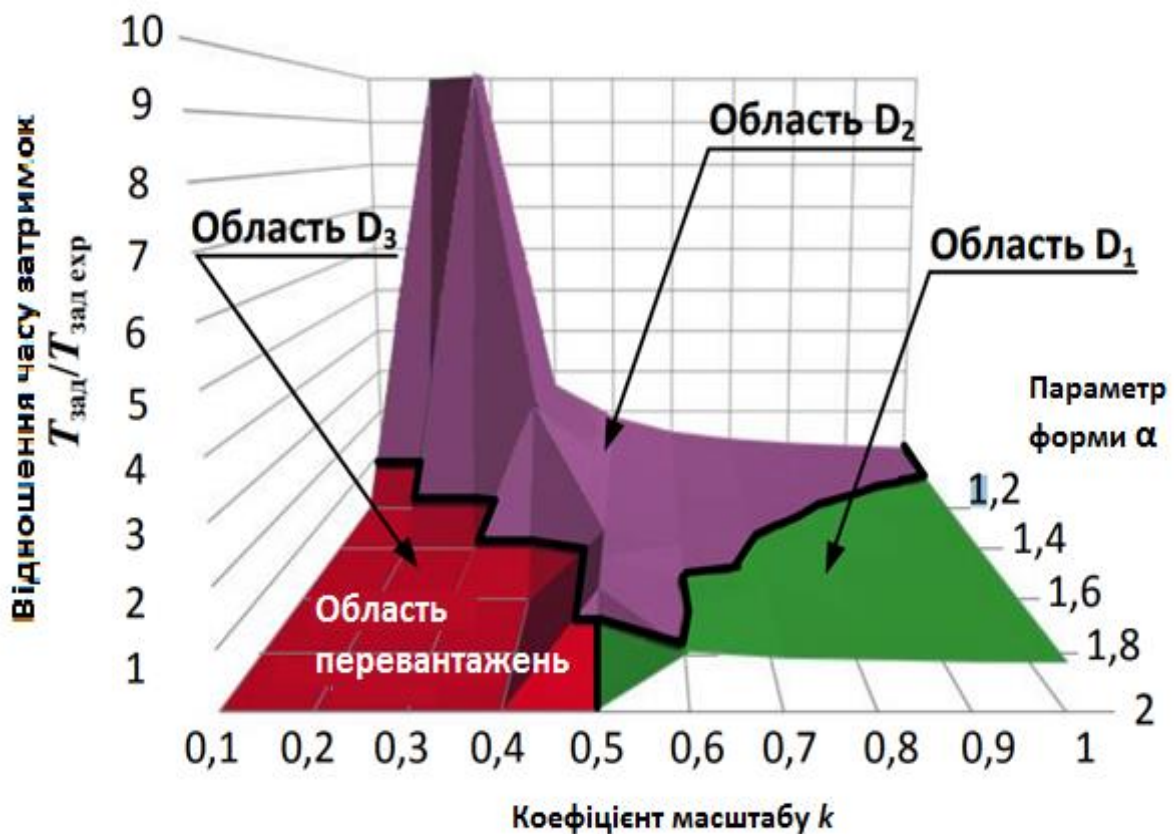


Рисунок 3.8 Кількісна оцінка рівня зниження своєчасності обслуговування трафіку зі складною структурою по відношенню до трафіку з експоненціальним розподілом за показником часу затримки  $T_{\text{зад пар}}$  (імітаційна модель  $Pa / M / 1$ )

Комплексним критерієм диференціювання області D є система

$$D = \begin{cases} D_1, (T_{\text{зад пар}} / T_{\text{зад ехр}}) < 1, m_{\text{т пар}}^{\text{им}} > T_{\text{обсл}}; \\ D_2, (T_{\text{зад пар}} / T_{\text{зад ехр}}) > 1, m_{\text{т пар}}^{\text{им}} > T_{\text{обсл}}; \\ D_3, 0,55 < (T_{\text{зад пар}} / T_{\text{зад ехр}}) < 1,2, m_{\text{т пар}}^{\text{им}} \leq T_{\text{обсл}} \end{cases} \quad (3.10)$$

Також за результатами проведеного моделювання можна зробити висновок про те, що на значення часу затримки  $T_{\text{зад}}$  впливає завантаження  $\rho$  пристрої обслуговування, яка при обраному обмеженні на час обслуговування в пристрої  $T_{\text{обсл}} = 1 / \mu = 1$ , залежить від значень МОЧ інтервалу часу між надходженням заявок  $m_{\text{т}}$ . У свою чергу, відповідно до виразу (3.6), на значення МОЧ потоку з Парето-розподілом впливають значення параметра форми  $\alpha$  і коефіцієнта масштабу  $k$ .

Тоді вираз для обчислення значення завантаження пристрою обслуговування має вигляд

$$\rho = \frac{T_{\text{обсл}}}{m_{\text{т пар}}^{\text{ан}}} = \frac{T_{\text{обсл}} \cdot (\alpha - 1)}{\alpha \cdot k} \quad (3.11)$$

З виразу (3.11) можна визначити граничні умови, коли завантаження  $\rho$  пристрої обслуговування імітаційної моделі Ра / М / 1 буде мати граничне значення  $\rho = 1$ . Підставивши дане значення завантаження  $\rho = 1$  в вираз (3.11) при фіксованому значенні часу обробки заявки в пристрої обслуговування  $T_{\text{обсл}} = 1 / \mu = 1$  і заданих значеннях параметра форми з діапазону  $\alpha \in [1,2; 2]$ , отримуємо вираз для області граничних значень коефіцієнта  $k$ , які призводять до повного завантаження пристрою обслуговування

$$k = \frac{T_{\text{обсл}} \cdot (\alpha - 1)}{\alpha} \quad (3.12)$$



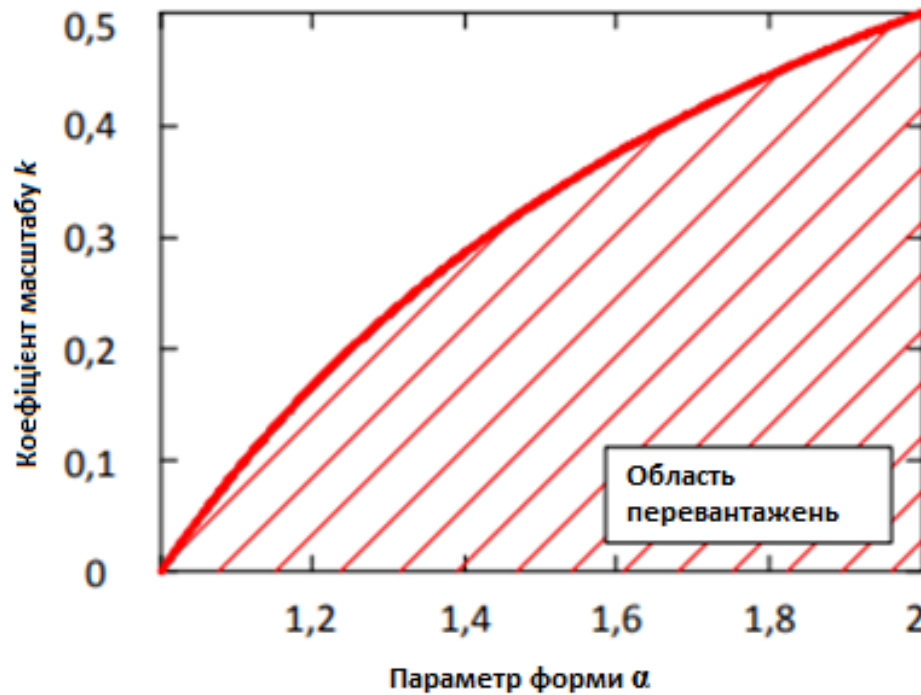


Рисунок 3.9 Граничні значення коефіцієнта масштабу  $k$  при різних значеннях параметра форми  $\alpha \in [1,2; 2]$ , які призводять до перевантаження пристрою обслуговування

### 3.4 Висновки до розділу 3

У даному розділі були розглянуті вимоги, що ставляться до показника своєчасності та у яких межах може знаходитися показник. Також, були розглянуті затримки інформаційного сигналу, що виникають в SFN мережах цифрового телевізійного мовлення. Були розглянуті типи затримок та їх особливості.

У даному розділі було проведено дослідження своєчасності обслуговування складного трафіку з введення додаткових обмежень. В якості дослідницького апарату було обрано імітаційне моделювання, за допомогою інструменту дослідження - середовище імітаційного моделювання GPSS World.

Було розглянуто модель  $P_a / M / 1$ , для неї були внесені характеристики. У процесі дослідження моделі  $P_a / M / 1$  було визначено, що:

1) своєчасність обслуговування трафіку зі складною структурою в вузлах системах зв'язку за показником часу затримки  $T_{\text{зад}}$  більшою мірою залежить від завантаження  $\rho$  вузлового обладнання;

2) визначено три області завантаження імітаційної моделі:

- область нормального функціонування пристрою обслуговування  $D_1$ ;
- область завантаження пристрою обслуговування  $D_2$ ;
- область перевантаження  $D_3$  пристрої обслуговування, в яких

відношення часів затримок заявок потоків з Парето- і експоненціальним розподілами має значення  $0,55 < T_{\text{зад пар}} / T_{\text{зад exp}} < 1,2$

## РОЗДІЛ 4 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКА СВОЄЧАСНОСТІ МСС СТАНДАРТУ DVB-T2

### 4.1 Аналіз способів покращення показника своєчасності

Для дослідження своєчасності обробки складного трафіку - часу затримки  $T_{\text{зад}}$  пакетів у вузлі зв'язку була використана імітаційна модель з Парето-розподілом моментів надходження потоку заявок і експоненціальним часом обслуговування  $Pa/M/1$  (Рисунок 4.1), Розроблена в середовищі GPSS World. Текст даної моделі представлений в додатку В.

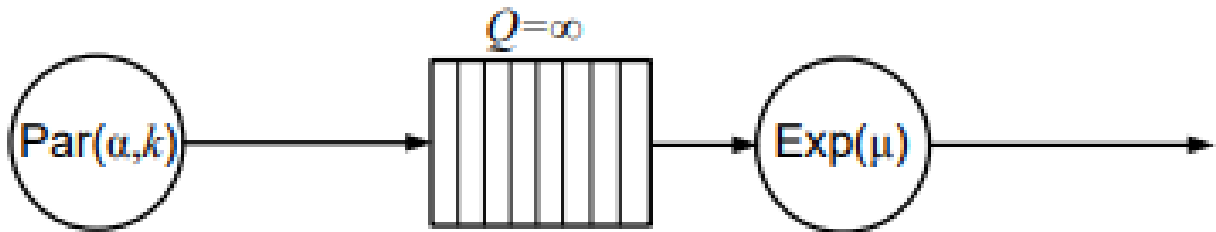


Рисунок 4.1. Імітаційна модель  $Pa/M/1$  обслуговування трафіку з Парето -розподілом

Для проведення порівняльного аналізу результатів обслуговування складного і простого трафіків була використана імітаційна модель з експоненціальним розподілом моментів надходження і обслуговування потоку заявок  $M / M / 1$  (Рисунок 4.2). Текст даної моделі в середовищі імітаційного моделювання GPSS World представлений в додатку Б

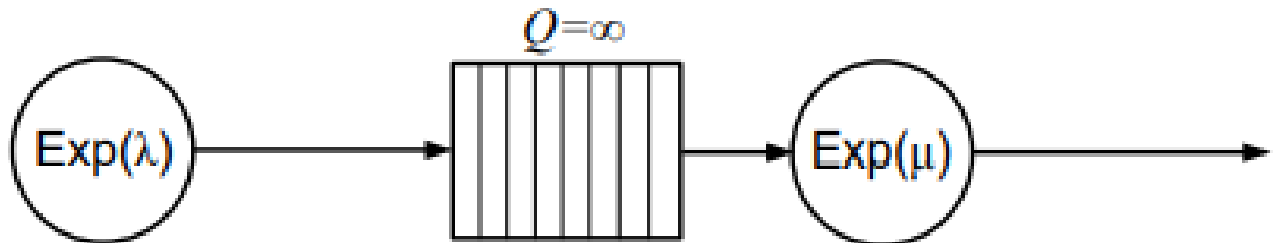


Рисунок 4.2 Імітаційна модель  $M/M/1$  обслуговування трафіку з Парето -розподілом

При проведенні моделювання для імітаційних моделей були введені такі обмеження:

1. Обсяг буфера  $Q = \infty$ .
2. Час обробки заявки в пристрої обслуговування прийнято за одиницю  $T_{\text{обсл}} = 1 / \mu = 1$ . До даного часу нормовані всі результати моделювання.
3. Значення параметра  $\alpha$  розподілу Парето в імітаційній моделі  $Pa / M / 1$  вибиралося з діапазону  $\alpha \in [1, 2; 2]$  з кроком 0,1.
4. Значення коефіцієнта масштабу  $k$  розподілу Парето в імітаційній моделі  $Pa / M / 1$  вибиралося таким, щоб забезпечити дослідження моделі зі значенням завантаження СМО  $\rho$  в діапазоні  $\rho \in [0, 1; 1)$  з кроком 0,1. Вибір конкретного значення  $k$ , відповідного необхідному рівню завантаження  $\rho$ , визначався за виразом:

$$k = \frac{T_{\text{обсл}}(\alpha - 1)}{\alpha \cdot \rho}. \quad (4.1)$$

Значення інтенсивності вхідного потоку  $\lambda$  в імітаційній моделі  $M / M / 1$  вибиралося таким, щоб забезпечити рівність математичного очікування потоків з Парето- і експоненціальним розподілами

$$m_{\text{пар}}(\tau_{\text{пар}}) = m_{\text{експ}}(\tau_{\text{експ}}), \Rightarrow \frac{\alpha \cdot k}{\alpha - 1} = \frac{1}{\lambda}, \Rightarrow \lambda = \frac{\alpha - 1}{\alpha \cdot k} = \frac{\rho}{T_{\text{обсл}}}. \quad (4.2)$$

У кожному експерименті з імітаційними моделями  $M / M / 1$  і  $Pa / M / 1$  з певною комбінацією параметрів  $\lambda$ ,  $\alpha$ ,  $k$ ,  $\rho$  проводилася генерація серії з  $10^7$  заявок. Для кожної такої комбінації параметрів проводилося 20 експериментів з різними номерами генераторів експоненціального розподілу в пристрої обслуговування додатках В і Г). Це дозволило забезпечити довірчу ймовірність 0,99 при 1% довірчому інтервалі:  $T_{\text{зад}} \pm 0,01 T_{\text{зад}}$

Вище вказані обмеження дозволили провести порівняльний аналіз своєчасності обслуговування потоків з Парето- і експоненціальним розподілами в широкому діапазоні завантаження СМО  $\rho$  за однакової кількості математичних очікувань досліджуваних потоків.

Результати проведеного моделювання дозволили сформувати початковий базис статистичних даних для проведення апроксимації і отримання аналітичних виразів для оцінки залежності  $T_{\text{зад}}(\rho)$  при різних значеннях  $\alpha$ .

У таблиці значення, виділені сірим кольором, відповідають параметрам завантаження СМО  $\rho$ , жовтим - значенням своєчасності обслуговування в моделі  $M / M / 1$  потоку з експоненціальним розподілом, інтенсивність якого визначається відповідно до виразу (4.2), зеленим - значенням своєчасності обслуговування в моделі  $P_a / M / 1$  потоку з Парето-розподілом, параметри якого задані в осередках рожевого кольору. Значення  $k^*$  наведено довідково і відповідає зазначеному в таблиці рівню завантаження  $\rho$  пристрої обслуговування. В осередках із значенням параметра  $\alpha$  додатково наведені значення коефіцієнта варіації  $st$  і коефіцієнта Херста  $H$ , які відповідають вказаним значенням  $\alpha$ .

Таблиця 4.1 Результати оцінки рівня своєчасності обслуговування складного і простого трафіку в залежності від рівня завантаження пристрою обслуговування

$T_{обсл}$		1									
Загрузка $\rho$		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
Математичне очікування, що відповідає значенню загрузки при $T_{обсл}=1$		10	5	3,333	2,5	2	1,667	1,427	1,25	1,111	
Експоненц.	$T_{заг\,ср}(\rho)$	1,11	1,25	1,43	1,67	2,0	2,5	3,33	4,87	9,95	
Параметри розподілу Парето	$\alpha=2$	$k^*$	5,0	2,5	1,667	1,25	1,0	0,834	0,714	0,625	0,556
	$c_{\tau}=1,62$ $H=0,5$	$T_{заг\,ср}(\rho)$	1,0	1,04	1,13	1,3	1,57	2,01	2,81	4,56	10,5
	$\alpha=1,9$	$k^*$	4,737	2,368	1,579	1,184	0,947	0,79	0,677	0,592	0,526
	$c_{\tau}=1,95$ $H=0,55$	$T_{заг\,ср}(\rho)$	1,001	1,042	1,148	1,33	1,624	2,109	3,0	5,015	12,03
	$\alpha=1,8$	$k^*$	4,444	2,222	1,48	1,11	0,889	0,741	0,635	0,556	0,494
	$c_{\tau}=2,44$ $H=0,6$	$T_{заг\,ср}(\rho)$	1,002	1,05	1,169	1,372	1,7	2,25	3,286	5,646	14,36
	$\alpha=1,7$	$k^*$	4,117	2,059	1,372	1,029	0,823	0,686	0,588	0,515	0,457
	$c_{\tau}=3,15$ $H=0,65$	$T_{заг\,ср}(\rho)$	1,003	1,061	1,2	1,43	1,81	2,46	3,71	6,67	19,68
	$\alpha=1,6$	$k^*$	3,75	1,875	1,25	0,938	0,75	0,625	0,536	0,468	0,417
	$c_{\tau}=4,2$ $H=0,7$	$T_{заг\,ср}(\rho)$	1,005	1,077	1,24	1,513	1,968	2,771	4,367	8,54	27,51
	$\alpha=1,5$	$k^*$	3,333	1,667	1,111	4	0,667	0,556	0,476	0,417	0,37
	$c_{\tau}=6$ $H=0,75$	$T_{заг\,ср}(\rho)$	1,01	1,1	1,31	1,65	2,23	3,3	5,61	11,9	48,61
	$\alpha=1,4$	$k^*$	2,857	1,429	0,952	0,714	0,571	0,476	0,408	0,357	0,317
	$c_{\tau}=8,97$ $H=0,8$	$T_{заг\,ср}(\rho)$	1,016	1,15	1,42	1,88	2,73	4,38	8,29	21,09	120,8
	$\alpha=1,3$	$k^*$	2,308	1,154	0,769	0,577	0,462	0,385	0,33	0,288	0,256
	$c_{\tau}=14,2$ $H=0,85$	$T_{заг\,ср}(\rho)$	1,033	1,24	1,65	2,4	3,88	7,22	16,74	61,98	575,4
	$\alpha=1,2$	$k^*$	1,667	0,834	0,556	0,417	0,333	0,278	0,238	0,208	0,185
	$c_{\tau}=23,6$ $H=0,9$	$T_{заг\,ср}(\rho)$	1,08	1,48	2,31	4,1	8,6	22,2	78,5	463,6	16542

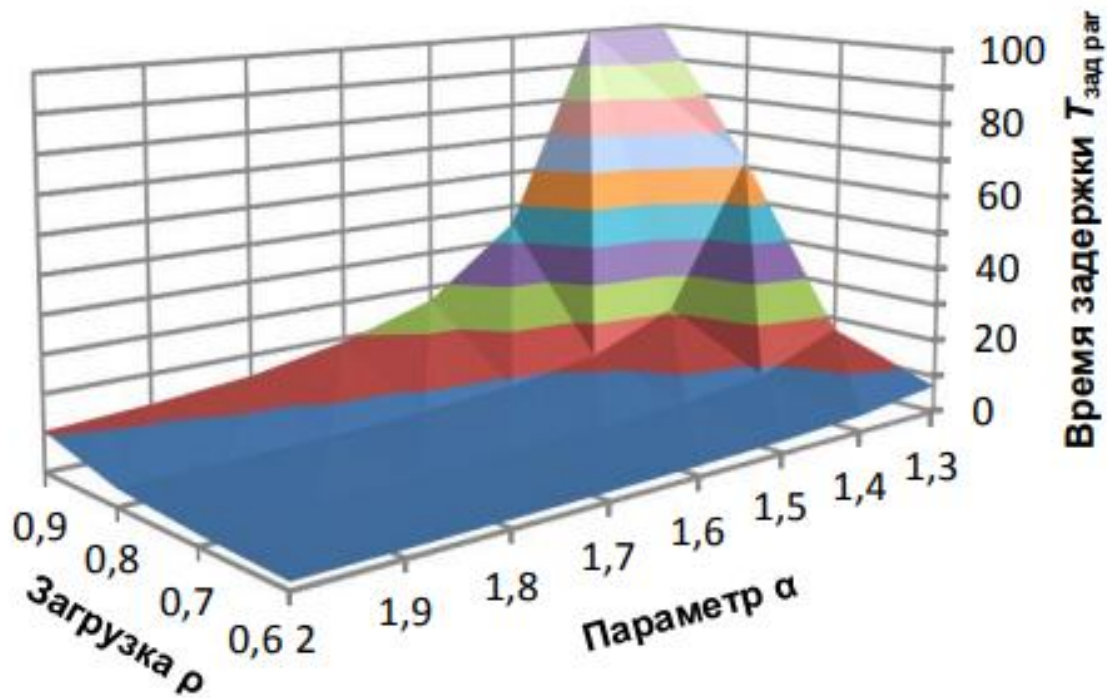


Рисунок 4.3 Графічна залежність: вихідні результати імітаційного моделювання, відповідно до даних з таблиці 4.1

4.2 Апроксимація результатів імітаційного моделювання  $T_{\text{зад}}(\rho)$  в залежності від рівня завантаження вузла для різного рівня складності трафіку

Проведений аналіз результатів імітаційного моделювання, представлений в таблиці, дозволив зробити наступні попередні висновки:

1. В обох моделях СМО  $M / M / 1$  і  $Pa / M / 1$  при зростанні завантаження  $0,6 \leq \rho < 1$  своєчасність обробки заявок знижується, а її показник - час затримки заявки в пристрої обслуговування  $T_{\text{зад}}$  істотно зростає, причому це зростання носить нелінійний характер.

2. У моделі СМО  $Pa / M / 1$  характер зниження своєчасності обробки (зростання часу затримки  $T_{\text{зад пар}}$ ) визначається показником складності трафіку, а саме параметром  $\alpha$  розподілу Парето. При цьому, для більшості значень рівня складності трафіку, що визначається параметром  $\alpha$ , за умови зростання завантаження  $0,6 \leq \rho < 1$  значення часу затримки  $T_{\text{зад пар}}$  в СМО  $Pa /$



$M / 1$  вище, ніж  $T_{\text{зад exp}}$  в моделі СМО  $M / M / 1$  з експоненціальним потоком заявок.

3. Нелінійний зростання часу затримки  $T_{\text{зад par}}$  в СМО  $Pa / M / 1$  при значеннях завантаження  $0,6 \leq \rho < 1$  може бути апроксимувати експоненційної функцією.

Для проведення апроксимації був обраний діапазон значень завантаження СМО  $0,6 \leq \rho < 1$ . Це було зроблено з двох причин. По-перше, цей діапазон завантажень найбільш цікавий для дослідження з точки зору практики, так як саме при високому завантаженні мережі починають виявлятися негативні ефекти обробки складного реального трафіку. По-друге, саме цього діапазону завантаження відповідає експонентний тип апроксимуючої функції  $T_{\text{зад par}}(\rho)$ , що дозволяє використовувати цей тип для всіх значень  $\alpha$ , згодом перейшовши до апроксимації більш високого рівня.

При апроксимації часу затримки  $T_{\text{зад par}}(\rho)$  при конкретному значенні параметра  $\alpha$  і різних рівнях завантаження була використана експоненціальна функція, що має вигляд:

$$T_{\text{зад par}}(\rho) = A_p e^{B_p \rho} + C_p, \quad (4.3)$$

де  $A_p$ ,  $B_p$ ,  $C_p$  - параметри апроксимуючої функції

Розрахунок параметрів апроксимації  $A_p$ ,  $B_p$ ,  $C_p$  вироблялося в програмному середовищі MathCAD з використанням функції  $\text{expfit}$ .



Таблиця 4.2 Параметри апроксимуючих функцій виду для різних значень  $\alpha$ 

Показник складності графіку в моделі потоку з Парето-розподілу		Значення параметрів в функції $T_{\text{зад пар}}(\rho)$			Середня відносна помилка апроксимації	Діапазон апроксимації завантаження $\rho$
		$A_\rho$	$B_\rho$	$C_\rho$		
Збільшення складності графіку	$\alpha=2$	$3,532 \cdot 10^{-4}$	11,237	1,778	2,1%	$0,6 \leq \rho \leq 0,9$
	$\alpha=1,9$	$3,147 \cdot 10^{-4}$	11,535	1,866	2,2%	
	$\alpha=1,8$	$2,411 \cdot 10^{-4}$	12,047	2,018	2,6%	
	$\alpha=1,7$	$1,239 \cdot 10^{-4}$	13,119	2,28	3,3%	
	$\alpha=1,6$	$1,187 \cdot 10^{-4}$	13,56	2,536	3,3%	
	$\alpha=1,5$	$3,583 \cdot 10^{-5}$	15,516	3,25	5,2%	
	$\alpha=1,4$	$2,727 \cdot 10^{-6}$	19,517	4,881	8,3%	
	$\alpha=1,3$	$3,344 \cdot 10^{-7}$	23,611	9,01	12%	
	$\alpha=1,2$	$7,485 \cdot 10^{-11}$	36,696	44,285	32,7%	

Окремі дані моделювання і апроксимуюче їх функції, а також абсолютні оцінки похибки апроксимації в графічному вигляді представлені на Рисунок 4.4-4.7

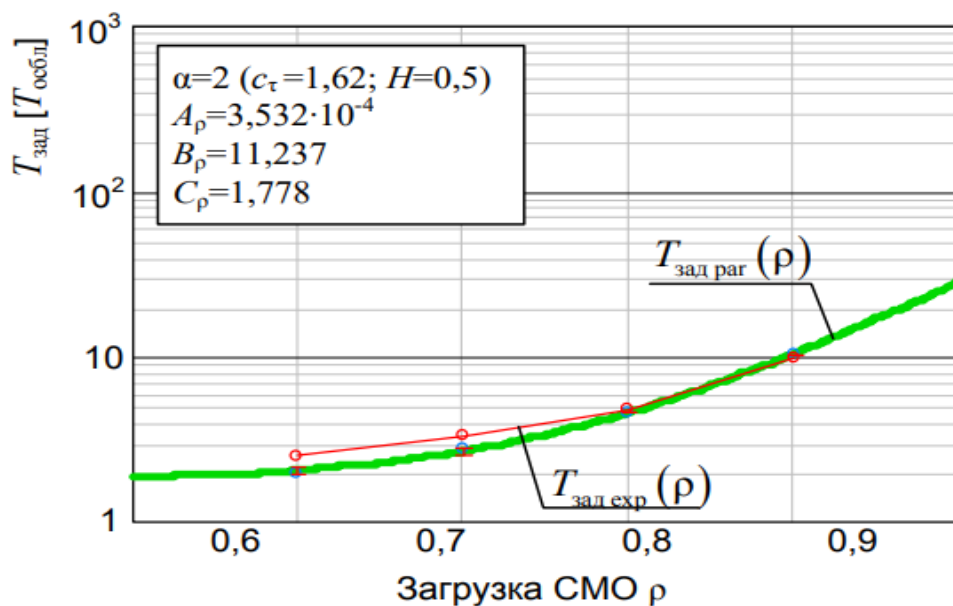


Рисунок 4.4 Значення  $T_{\text{зад пар}}$ ,  $T_{\text{зад екр}}$  отримані на основі імітаційного моделювання в моделях СМО  $\text{Pa} / \text{M} / 1$ ,  $\text{M} / \text{M} / 1$  і апроксимируюче їх функції  $T_{\text{зад пар}}(\rho)$ ,  $T_{\text{зад екр}}(\rho)$

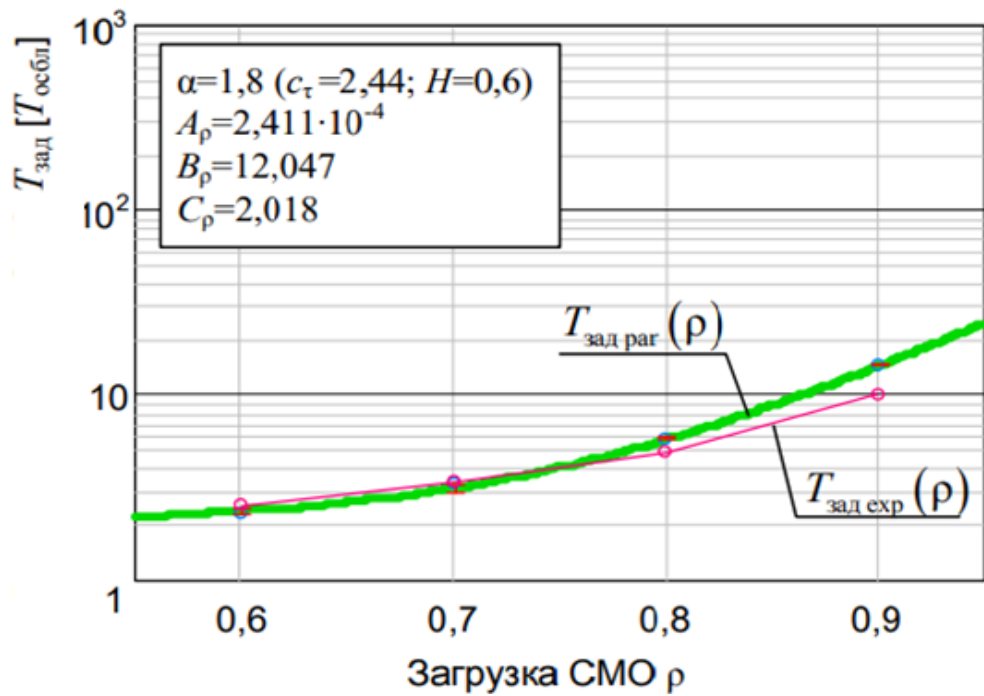


Рисунок 4.5 Значення  $T_{\text{зад пар}}$ ,  $T_{\text{зад ехр}}$  отримані на основі імітаційного моделювання в моделях СМО Ра / М / 1, М / М / 1 і апроксимируюче їх функції  $T_{\text{зад пар}}(\rho)$ ,  $T_{\text{зад ехр}}(\rho)$

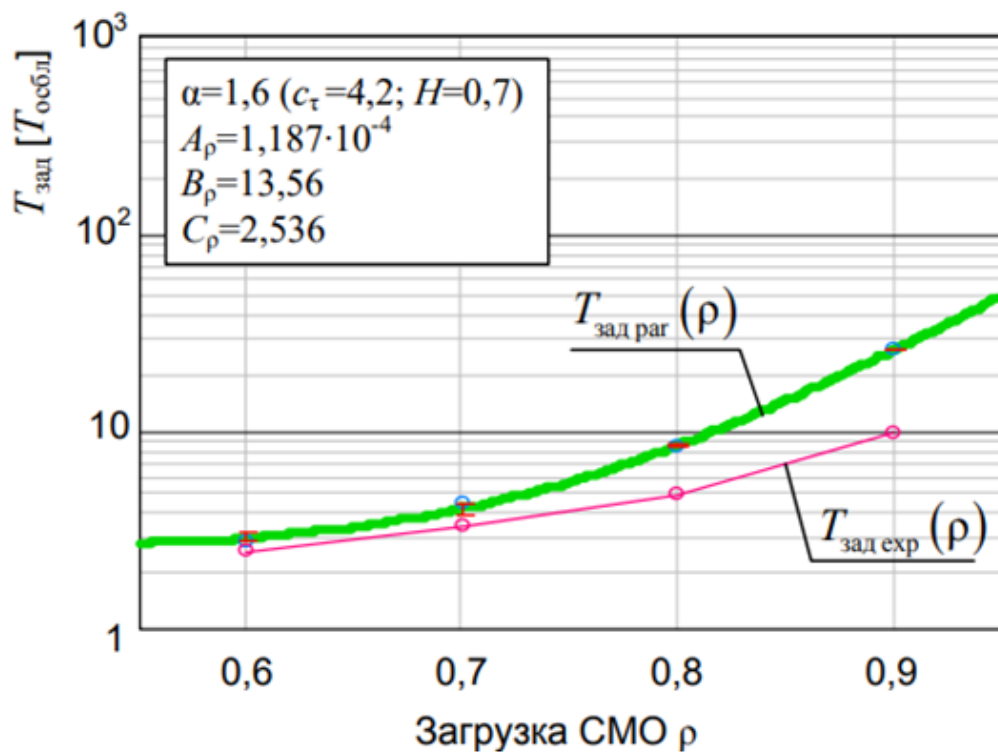


Рисунок 4.6 Значення  $T_{\text{зад пар}}$ ,  $T_{\text{зад ехр}}$  отримані на основі імітаційного моделювання в моделях СМО Ра / М / 1, М / М / 1 і апроксимируюче їх функції  $T_{\text{зад пар}}(\rho)$ ,  $T_{\text{зад ехр}}(\rho)$

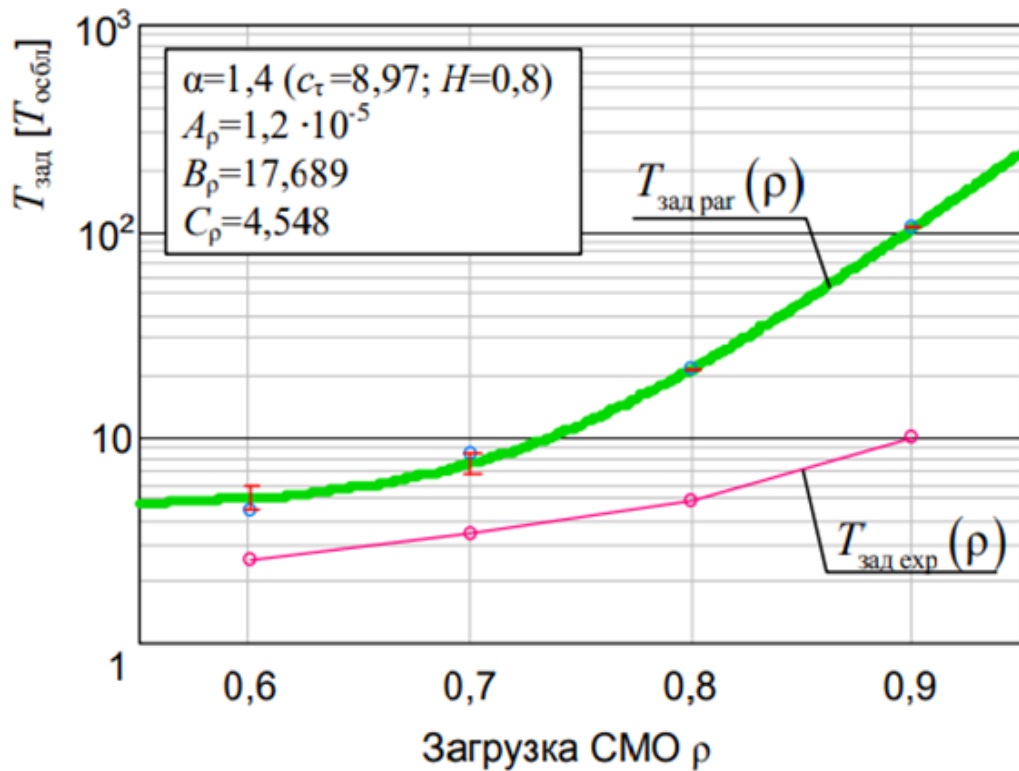


Рисунок 4.7 Значення  $T_{\text{зад пар}}$ ,  $T_{\text{зад ехр}}$  отримані на основі імітаційного моделювання в моделях СМО  $Ra / M / 1$ ,  $M / M / 1$  і апроксимуюче їх функції  $T_{\text{зад пар}}(\rho)$ ,  $T_{\text{зад ехр}}(\rho)$

Проведений аналіз похибки апроксимації (Рисунок 4.8) Для функцій  $T_{\text{зад пар}}(\rho)$  при різних значеннях  $\alpha$ , показав, що помилки апроксимації швидко зменшуються зі збільшенням завантаження СМО. Таким чином, аналітичні функції  $T_{\text{зад пар}}(\rho)$  можуть бути використані для прикладних потреб, так як похибка апроксимації для більшості функцій (при  $1,3 \leq \alpha \leq 2$ ) не перевищує 20% при значенні завантаження  $\rho = 0,67$  і 10% - при  $\rho = 0,75$ .

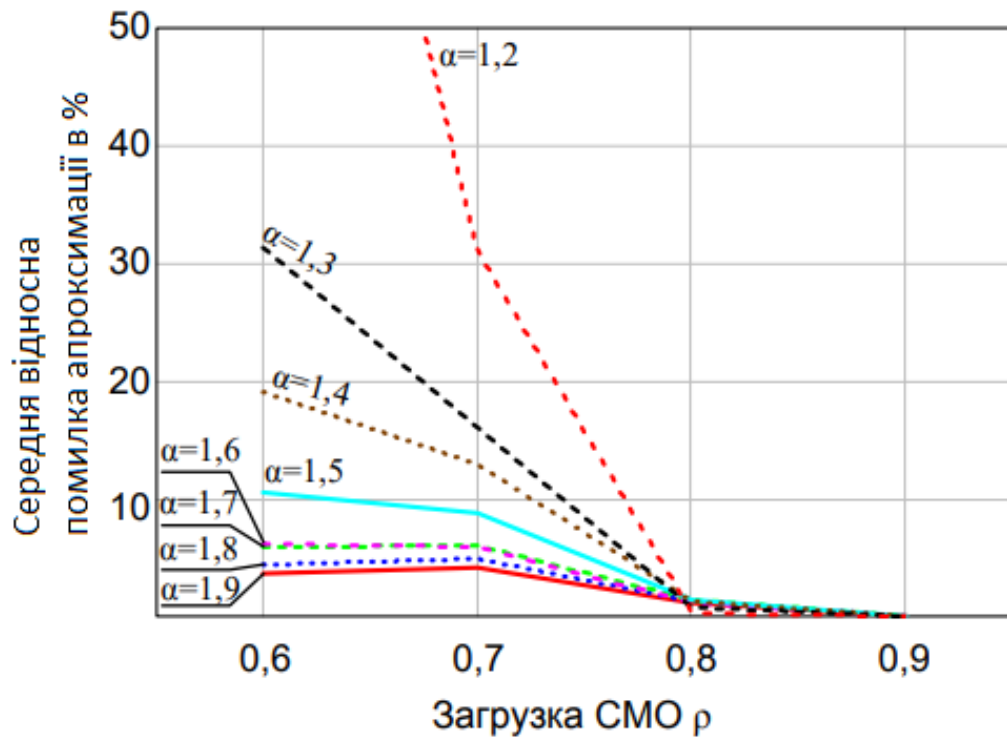


Рисунок 4.8 Похибки апроксимації для функцій  $T_{\text{зад пар}}(\rho)$  при різних значеннях  $\alpha$

При апроксимації значень часу затримки заявок потоку з експоненціальним розподілом  $T_{\text{зад exp}}$ , отриманого в результаті імітаційного моделювання СМО  $M / M / 1$ , також була використана експоненціальна функція виду:

$$T_{\text{зад exp}}(\rho) = A_{\rho} e^{B_{\rho} \rho} + C_{\rho}. \quad (4.4)$$

Параметри апроксимації  $A_{\rho}$ ,  $B_{\rho}$ ,  $C_{\rho}$ , обчислені в програмному середовищі MathCAD з використанням функції `expf` для обслуговування експоненціального потоку в СМО  $M / M / 1$  при  $0,6 \leq \rho \leq 0,9$ , рівні  $A_{\rho} = 5,9 \cdot 10^{-4}$ ,  $B_{\rho} = 10,527$ ,  $C_{\rho} = 2,255$ . При цьому середня відносна похибка апроксимації становить 2,2%

### 4.3 Апроксимація результатів імітаційного моделювання $T_{\text{зад}}(\alpha, \rho)$ в залежності від рівня завантаження вузла і рівня складності трафіку

Зміна значень параметрів  $A_\rho$ ,  $B_\rho$ ,  $C_\rho$  в апроксимуючій функції (таблиця 4.2) в залежності від показника складності трафіку  $\alpha$  в Парето-розподіл представлено на Рисунок 4.8. Аналіз цих графічних залежностей дозволив прийти до висновку про можливість їх подальшої апроксимації у вигляді функцій  $A_\rho(\alpha)$ ,  $B_\rho(\alpha)$ ,  $C_\rho(\alpha)$ . Така апроксимація дозволить аналітично узагальнити результати імітаційного моделювання і сформулювати аналітичний вираз для оцінки часу затримки  $T_{\text{зад пар}}(\alpha, \rho)$  в залежності, як від рівня завантаження вузла, так і рівня складності трафіку.

З результатів моделювання, які були використані для апроксимації, були виключені дані для  $T_{\text{зад пар}}(\alpha = 1,2)$ . Це було зроблено для підвищення загальної точності апроксимації, так як дані для  $T_{\text{зад пар}}(\alpha = 1,2)$  мають високу похибка результатів, як імітаційного моделювання, так і проведеної апроксимації (34,5%)

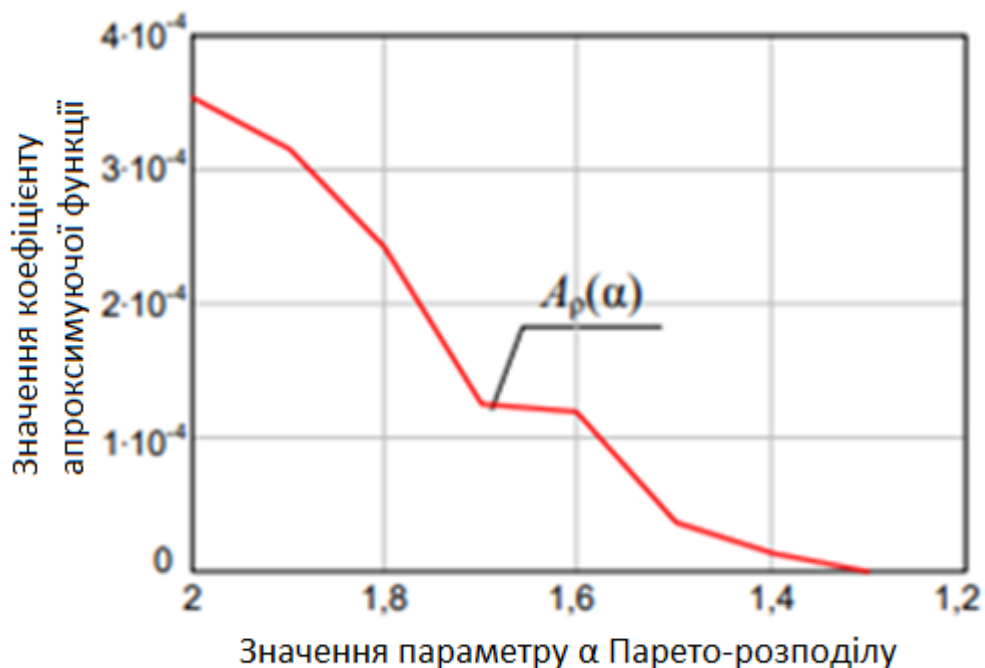


Рисунок 4.9 Зміна значень параметрів  $A_\rho$  в функції  $T_{\text{зад}}$  в залежності від показника  $\alpha$  Парето-розподілу

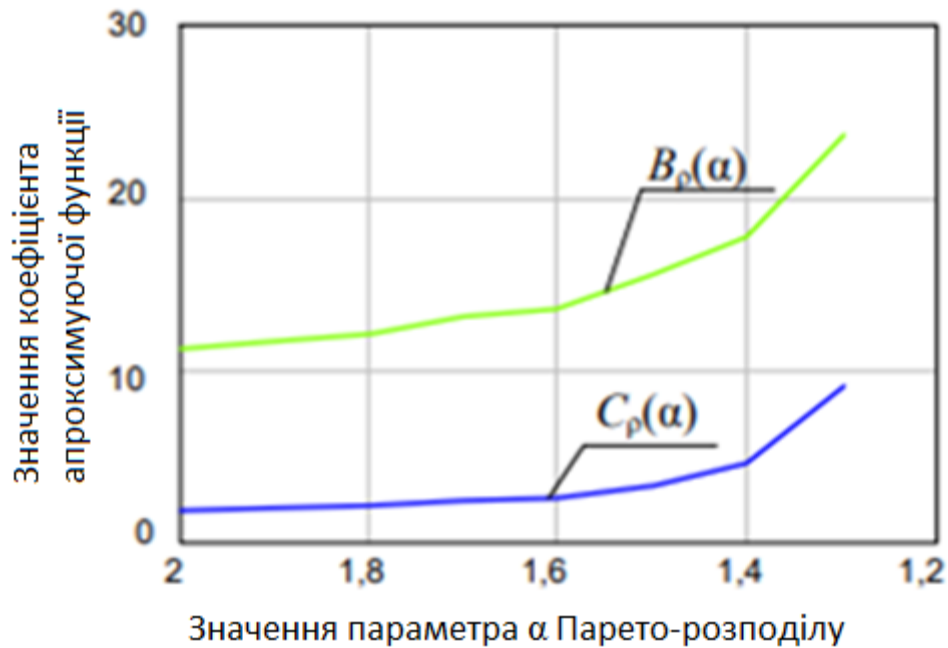


Рисунок 4.10 Зміна значень параметрів  $A_p$ ,  $B_p$ ,  $C_p$  в функції  $T_{\text{задрар}}(\alpha, \rho)$  в залежності від показника  $\alpha$  Парето-розподілу

При апроксимації часу затримки  $T_{\text{задрар}}(\alpha, \rho)$  була використана складна експоненціальна функція, що має вигляд:

$$T_{\text{задрар}}(\alpha, \rho) = A_p(\alpha) e^{B_p(\alpha)\rho} + C_p(\alpha), \quad (4.5)$$

де  $A_p(\alpha)$ ,  $B_p(\alpha)$ ,  $C_p(\alpha)$  - функції, апроксимуючі значення параметрів  $A_p$ ,  $B_p$ ,  $C_p$  при різних значеннях  $\alpha$ .

Зважаючи на складність підбору апроксимації для функції  $A_p(\alpha)$  було прийнято рішення про її апроксимації кусково-безперервного логістичною функцією виду:

$$\begin{cases} A_{p,1}(\alpha) = \frac{D_{\alpha,1}}{1 + E_{\alpha,1} e^{-\alpha(F_{\alpha,1})}}, \text{ при } 1,668 < \alpha \leq 2. \\ A_{p,2}(\alpha) = \frac{D_{\alpha,2}}{1 + E_{\alpha,2} e^{-\alpha(F_{\alpha,2})}}, \text{ при } 1,3 \leq \alpha \leq 1,668. \end{cases} \quad (4.6)$$

Вибір значення  $\alpha = 1,668$  в якості точки зміни функціональної залежності функції у виразі (4.6) обумовлений тим, що саме при цьому значенні параметра  $\alpha$  значення функцій  $A_{p,1}(\alpha)$  і  $A_{p,2}(\alpha)$  рівні і їх графіки перетинаються (див. Рисунок 4.8).

Обчислення параметрів апроксимації  $D_{\alpha, 1}$ ,  $E_{\alpha, 1}$ ,  $F_{\alpha, 1}$ ,  $D_{\alpha, 2}$ ,  $E_{\alpha, 2}$ ,  $F_{\alpha, 2}$  для функцій  $A_{p, 1}(\alpha)$  і  $A_{p, 2}(\alpha)$  вироблялося в програмному середовищі MathCAD використанням функції lgsfit при початкових параметрах:  $D_{\alpha, 1} = D_{\alpha, 2} = 1$ ,  $E_{\alpha, 1} = E_{\alpha, 2} = 1$ ,  $F_{\alpha, 1} = F_{\alpha, 2} = 1$ .

Для апроксимації функцій  $B_p(\alpha)$  і  $C_p(\alpha)$ , була використана експоненціальна функція:

$$B_p(\alpha) = D_{\alpha} e^{E_{\alpha} \alpha} + F_{\alpha}, \quad (4.7)$$

$$C_p(\alpha) = D_{\alpha} e^{E_{\alpha} \alpha} + F_{\alpha}. \quad (4.8)$$

Обчислення параметрів апроксимації  $D_{\alpha}$ ,  $E_{\alpha}$ ,  $F_{\alpha}$  для функцій  $B_p(\alpha)$  і  $C_p(\alpha)$  вироблялося в програмному середовищі MathCAD з використанням функції expfit.

В результаті проведеної апроксимації були отримані значення параметрів  $D_{\alpha}$ ,  $E_{\alpha}$ ,  $F_{\alpha}$  апроксимуючих функцій для функцій  $A_p(\alpha)$ ,  $B_p(\alpha)$ ,  $C_p(\alpha)$ . Ці значення, а також додаткові параметри апроксимації, зведені в таблицю

Таблиця 4.3 Обчислення параметрів апроксимації

Функції параметру в функції апроксимації	Значення параметрів $D_{\alpha}$ , $E_{\alpha}$ , $F_{\alpha}$ апроксимуючих функцій для функцій $A_p(\alpha)$ , $B_p(\alpha)$ , $C_p(\alpha)$		
	$D_{\alpha}$	$E_{\alpha}$	$F_{\alpha}$
$A_{p,1}(\alpha)$	$4,435 \cdot 10^{-4}$	$2,225 \cdot 10^6$	6,889
$A_{p,2}(\alpha)$	$1,384 \cdot 10^{-4}$	$1,01 \cdot 10^{19}$	28,471
$B_p(\alpha)$	$5,52 \cdot 10^3$	-4,652	10,74
$C_p(\alpha)$	$3,451 \cdot 10^5$	-8,301	1,88

Значення функцій  $A_p(\alpha)$ ,  $B_p(\alpha)$ ,  $C_p(\alpha)$ , а також абсолютні оцінки похибки апроксимації представлені в графічному вигляді на Рисунок 4.11-4.12

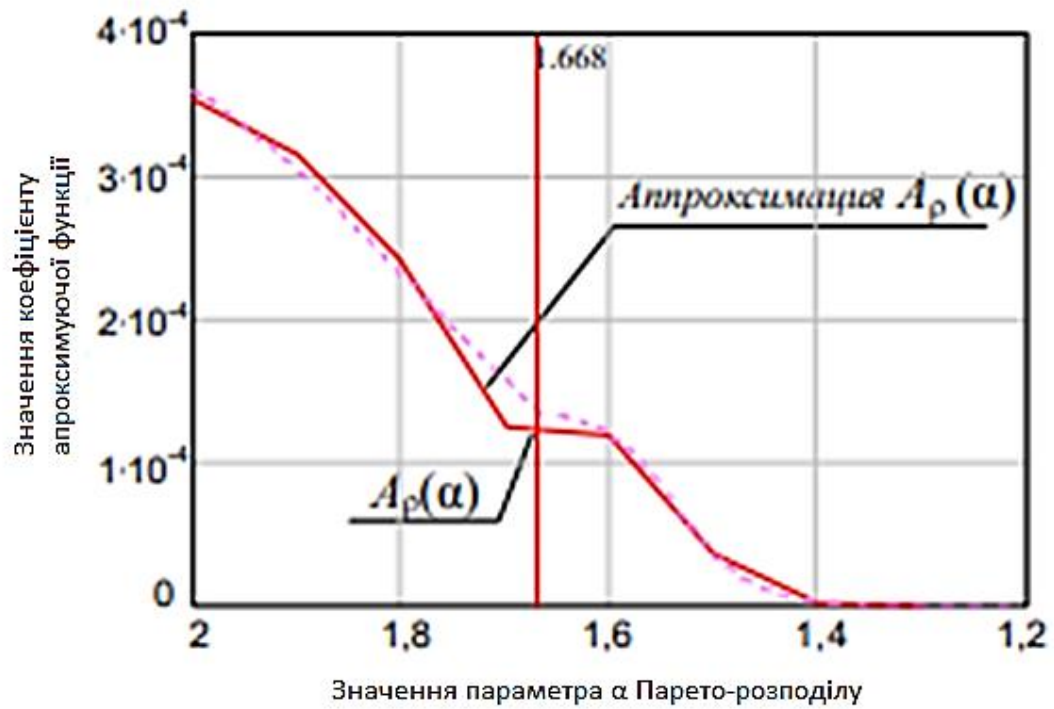


Рисунок 4.11 Значення функцій  $A_p(\alpha)$ ,  $B_p(\alpha)$ ,  $C_p(\alpha)$ , отримані на основі імітаційного моделювання в моделі СМО Ра / М / 1

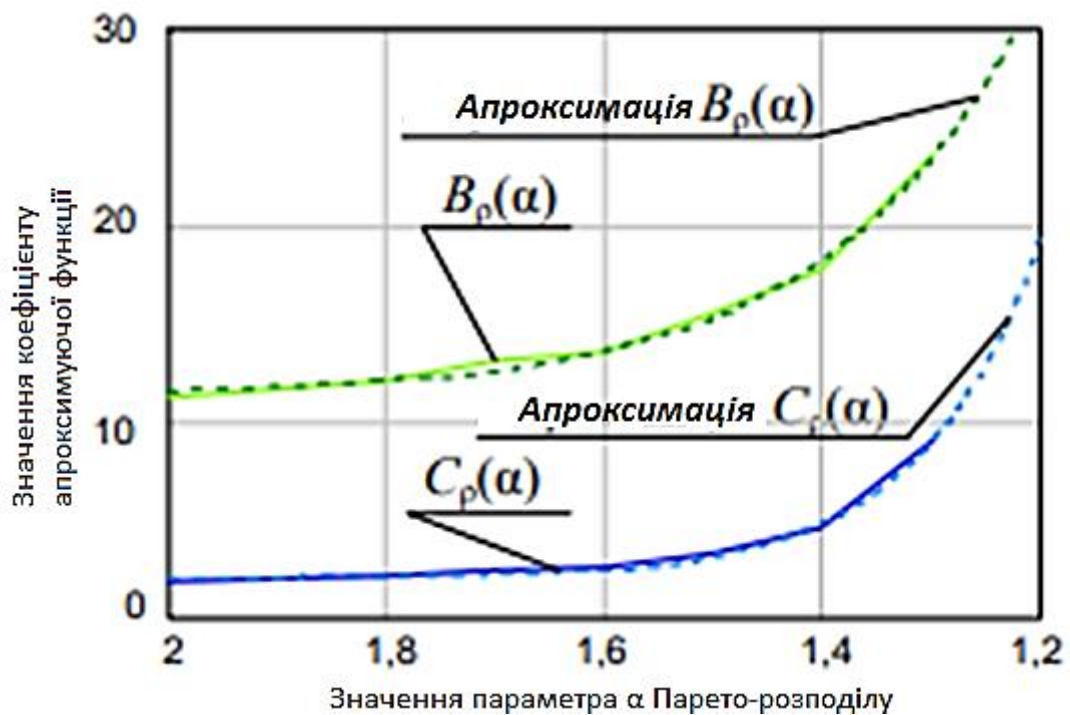


Рисунок 4.12 Значення функцій  $B_p(\alpha)$ ,  $C_p(\alpha)$ , отримані на основі імітаційного моделювання в моделі СМО Ра / М / 1



Узагальнюючи отримані результати, можна зробити висновок, що проведені дослідження своєчасності обслуговування складного трафіку, представленого потоком з Парето-розподілом моментів надходження заявок, зі значеннями параметра  $1,3 \leq \alpha \leq 2$ , засновані на імітаційній моделі Ра / М / 1 в діапазоні завантаження СМО  $0,6 \leq \rho \leq 0,9$ , можна бути апроксимувати наступною складною функцією:

$$T_{\text{зад пар}}(\alpha, \rho) = A_p(\alpha) \cdot \exp\left[\left(5,52 \cdot 10^3 \exp(-4,652\alpha) + 10,74\right)\rho\right] + \left(3,451 \cdot 10^5 \exp(-8,301\alpha) + 1,88\right), \quad (4.9)$$

$$A_p(\alpha) = \begin{cases} \frac{4,435 \cdot 10^{-4}}{1 + 2,225 \cdot 10^6 e^{-6,889\alpha}}, & \text{при } 1,668 < \alpha \leq 2; \\ \frac{1,384 \cdot 10^{-4}}{1 + 1,01 \cdot 10^{19} e^{-28,471\alpha}}, & \text{при } 1,3 \leq \alpha \leq 1,668. \end{cases} \quad (4.10)$$

Графіки, відповідні вихідним результатами імітаційного моделювання (з таблиці 1) і апроксимуючої їх функції  $T_{\text{зад пар}}(\alpha, \rho)$ , а також відносної похибки апроксимації  $\delta$  – представлені на рис

При цьому похибка апроксимації визначалася за виразом:

$$\delta(\alpha, \rho) = \frac{T_{\text{зад пар}}(\alpha, \rho) - T_{\text{зад пар}}^*(\alpha, \rho)}{T_{\text{зад пар}}^*(\alpha, \rho)} \cdot 100\% \quad (4.11)$$

де значення  $T_{\text{зад пар}}(\alpha, \rho)$  визначається за формулою, а значення  $T_{\text{зад пар}}^*(\alpha, \rho)$  визначається з таблиці 1 для одних і тих же значеннях параметра  $\alpha$  і завантаження  $\rho$ .

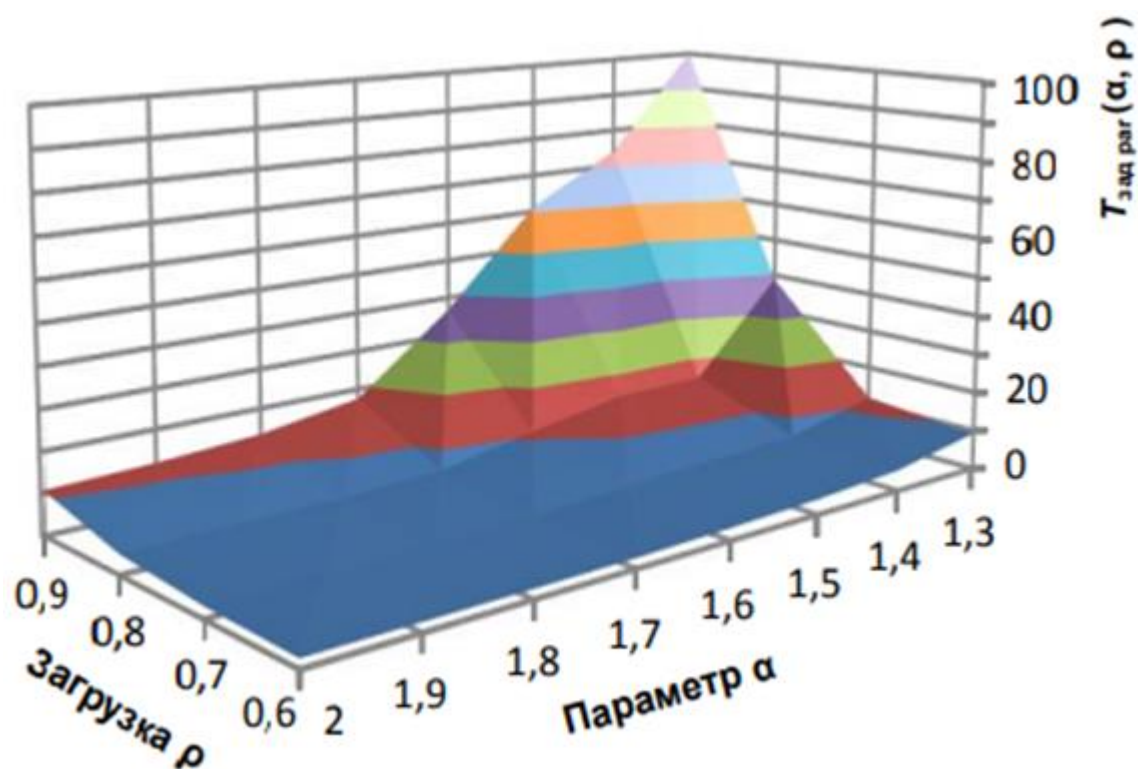


Рисунок 4.13 Значення апроксимуючої функції  $T_{\text{зад раг}}(\alpha, \rho)$  відповідно до виразу;

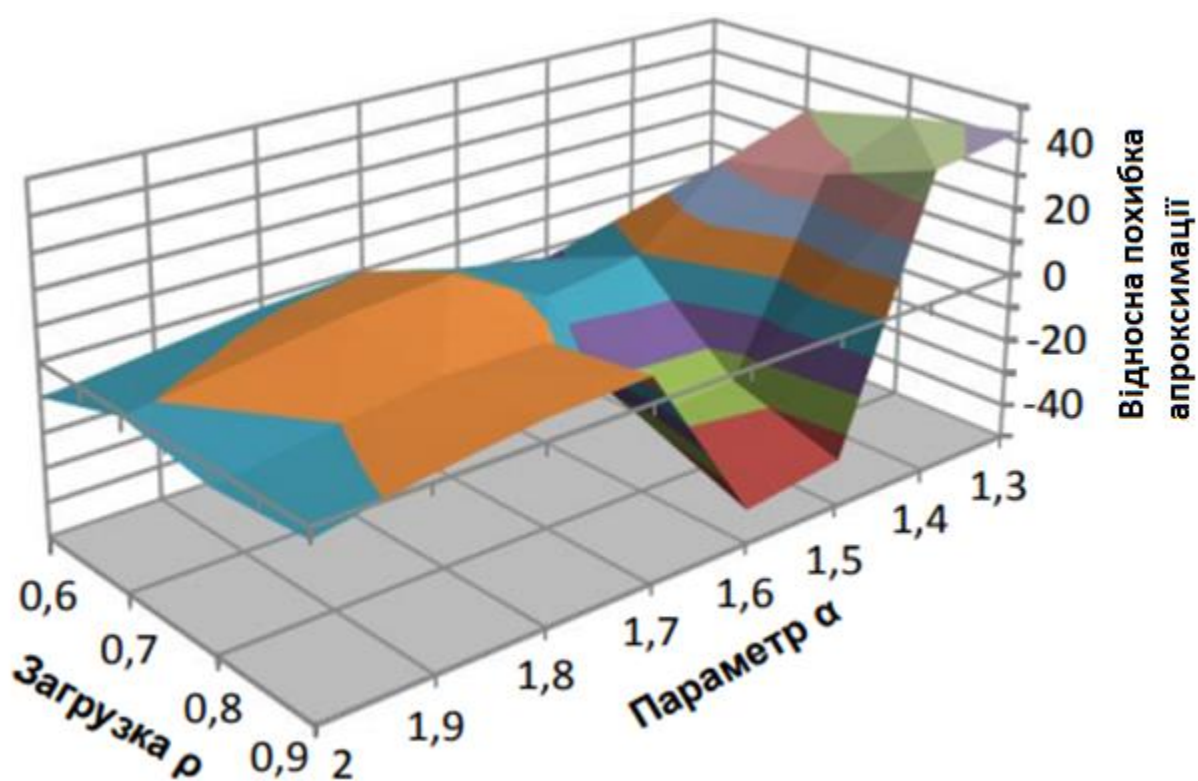


Рисунок 4.14 Відносна похибка апроксимації відповідно до  $\delta$ .

#### 4.4 Висновки до розділу 4

Проведені дослідження показали, що мультимедійний трафік має властивість структурної складності. Наявність цієї властивості веде до істотного зниження своєчасності обслуговування трафіку в вузлах мережі. Оцінка зниження своєчасності обслуговування складного трафіку в вузлах мережі була проведена на основі імітаційного моделювання.

Для моделювання обслуговування трафіку в вузлі використовувалися моделі систем масового обслуговування  $M / M / 1$  (для простого трафіку) і  $Pa / M / 1$  (для трафіку зі складною структурою, яка ставила собі параметром  $\alpha$  Парето розподілу). У роботі проведена дворівнева апроксимація результатів імітаційного моделювання, яка дозволила отримати аналітичний вираз для залежності своєчасності обслуговування трафіку від рівня завантаження вузла і рівня складності трафіку.

Отримане аналітичне вираз для оцінки своєчасності обслуговування складного трафіку може бути використано при вирішенні прикладних задач проектування та аналізу мереж зв'язку при передачі мультимедійного трафіку в умовах високого завантаження мережі стандарту DVB-T2. Крім того, цей вираз може бути використано для перевірки достовірності результатів раніше проведених досліджень, заснованих на аналітичних методах оцінки якості обробки заявок в системах масового обслуговування.

## ВИСНОВКИ

Поставленою метою роботи було проведення аналізу показника своєчасності стандарту DVB-T2 при обслуговуванні трафіку в мережі на основі розробки імітаційного моделювання.

Відповідно до поставлених задач магістерської дисертації було виконано обґрунтування дослідження стандарту DVB-T2, а саме досліджено його Розглянуто поняття високошвидкісної мультисервісної системи. Розглянуто те, що досить часто основні переваги сучасних систем управління - універсальність і багатофункціональність - стають в спеціалізованих системах їх основними недоліками.

Далі було розглянуто технологію обробки вхідних сигналів у стандарті DVB-T2. Розглядалася схема обробки сигналів та структура кадру стандарту для подальшого дослідження показника своєчасності.

Також, було розглянуто особливості показника своєчасності інформаційного сигналу, а саме його визначення, межі дії своєчасності. Також було розглянуто імітаційну модель, що показувала залежність завантаженості системи від своєчасності. Було визначено області роботи системи зв'язку в завантаженості в завантаженості, а також була виділена область перевантаження системи. З отриманих даних було побудовано графік, який чітко окресли межі роботи системи з своєчасною доставкою інформаційного сигналу.

Розроблено імітаційні моделі, що моделюють ланку зв'язку для оцінки параметра своєчасності та характеристик, що на нього впливають при передачі мультимедійного трафіку, що має структурну складність.

У результаті досліджень було виведено вираз, що оцінює своєчасність доставки інформації в МСС стандарту DVB-T2. Отриманий вираз для оцінки своєчасності обслуговування складного трафіку може бути використано при вирішенні прикладних задач проектування та аналізу мереж зв'язку при передачі мультимедійного трафіку в умовах високого завантаження мережі стандарту DVB-T2.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Имитационные модели системы массового обслуживания типа Ра/М/1, Н2/М/1 и исследование на их основе качества обслуживания трафика со сложной структурой Ушанев К. В 2015 – 35с.  
/<http://sccs.intelgr.com/archive/2015-04/14-Ushanev.pdf> (дата звернення 05.12)
2. Показатели своевременности обслуживания трафика в системе массового обслуживания Ра/М/1 на основе аппроксимации результатов имитационного моделирования Ушанев К. В 2016 – 24с. / <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-01/03-Ushanev.pdf> (дата звернення 05.12)
3. Карякин В.Л. Дистанционное обучение технологиям цифрового телевидения DVB-T2 / Карякин В.Л., Карякин Д.В.. // Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education. – 2012.
4. Ю.М. Кирик. Изучение построения и функционирования системы приема цифрового эфирного телевидения стандарта DVB-T2 / Ю.М. Кирик, Р.И. Колотушкин, Г.И. Сорокин. – Москва, 2015. – 31 с.
5. Стандарты наземного эфирного цифрового телевидения DVB-T2 Стюк Я.Г. – 2012. – С. 3.
6. Карякин В.Л. Технология эксплуатации систем и сетей цифрового телевизионного стандарта DVB-T2: монография. — М: СолонПресс, 2014. — 158 с.
7. Калиновский Д.А., Карякин В.Л., Карякин Д.В., Коротков Д.И. Проблемы синхронизации передатчиков одночастотной сети стандарта DVB-T2 // Сборник докладов Международного научно-технического семинара "Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях "СИНХРОИНФО 2014". — Воронеж, 2014
8. Measurement guidelines for DVB systems; Amendment for T2MI (Modulator Interface); DVB Document A141, VI, 2012. — 16 p. / [http://www.dvb.org/resources/public/standards/A141\\_Measurement\\_Guide\\_T2MI.pdf](http://www.dvb.org/resources/public/standards/A141_Measurement_Guide_T2MI.pdf) (дата звернення 05.12)

9. Шахнович И. Новый стандарт цифрового телевизионного вещания / И. Шахнович // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес, No 6, 2009.
10. Осин А. В. Влияние самоподобности речевого трафика на качество обслуживания в телекоммуникационных сетях: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.13. – М.: Московский государственный университет сервиса, 2005. – 164 с.
11. Задорожный В. Н., Долгушин Д. Ю., Юдин Е. Б. Аналитико-имитационные методы решения актуальных задач системного анализа больших сетей / Под ред. В. Н. Задорожного – Омск: Издательство ОмГТУ, 2013. – 324 с.
12. Кучук Г. А. Учет фрактальных свойств пульсирующего трафика // Материалы I Международной научно-технической конференции «Инфотелекоммуникационные технологии в науке, производстве и образовании». URL: <http://www.selfsimilar.narod.ru/kuchuk1.pdf> (дата обращения: 30.10.2015).
13. Будко П. А., Рисман О. В. Многоуровневый синтез информационно-телекоммуникационных систем. Математические модели и методы оптимизации: Монография. – СПб.: ВАС, 2011. - 476 с.
14. Авдєєнко Г.Л. Цифрове телебачення стандарту DVB-T2. Лекція №2. – 88 с.
15. Стандарт DVB-T2 [Електроний ресурс] // Radiofishka <https://radiofishka.in.ua/uk/content/standart-dvb-t2>
16. Основні теоретичні відомості про аналогове телевізійне мовлення [Електроний ресурс] // <https://studfile.net/preview/8103086/>
17. Аналіз структурної схеми цифрового телевізійного передавача стандарту DVB-T2 [Електроний ресурс] // <http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/52BA7324-6223-4A8F-AD3C-4171B41CAD6F.pdf>

ДОДАТОК А

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МОДЕЛІ  
ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕКСПОНЕНЦІЙНОГО ТРАФІКУ В ПРОГРАМІ GPSS  
WORLD

**; Блок опису змінних**

VrDelta TABLE X\$Delta,0,1,60

INITIAL X\$Time,0

VrObsl TABLE MP2,0,1,60

MoJ EQU 4.33

T\_obs1 EQU 1

Fun VARIABLE (AC1-X\$Time)

**; Блок генерації та обслуговування експоненційного  
трафіку**

GENERATE (Exponential(17,0,MoJ));

SAVEVALUE Delta,V\$Fun

SAVEVALUE Time,AC1

TABULATE VrDelta

MARK 2

QUEUE Ocher

SEIZE OKU

DEPART Ocher

ADVANCE (Exponential(45,0,T\_obs1)) ;

RELEASE OKU

SAVEVALUE 1,MP2

TABULATE VrObsl

TERMINATE 1

START 1000000

ДОДАТОК Б

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТРАФІКУ З РОЗПОДІЛОМ  
ПАРЕТО В ПРОГРАМІ GPSS WORLD

**; Блок опису змінних**

VrDelta TABLE X\$Delta,0,1,60

INITIAL X\$Time,0

Alpha EQU 1.0001

k EQU 1

Moj EQU (Alpha#k)/(Alpha-1)

Fun VARIABLE (AC1-X\$Time)

**; Блок генерації трафіку Парето**

GENERATE (k#(Uniform(1,0,1)+1E-6#Uniform(1,0,1)) ^ (-  
1/Alpha))

SAVEVALUE Delta,V\$Fun

SAVEVALUE Time,AC1

TABULATE VrDelta

TERMINATE 1

START 1000000



# ДОДАТОК В

## ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МОДЕЛІ М/М/1 В ПРОГРАМІ GPSS WORLD

**; Блок опису змінних**

VrDelta TABLE X\$Delta,0,1,60

INITIAL X\$Time,0

VrObsl TABLE MP2,0,1,60

MoJ EQU 4.33

T\_obs1 EQU 1

Fun VARIABLE (AC1-X\$Time)

**; Блок генерації та обслуговування експоненційного  
трафіку**

GENERATE (Exponential(17,0,MoJ));

SAVEVALUE Delta,V\$Fun

SAVEVALUE Time,AC1

TABULATE VrDelta

MARK 2

QUEUE Ocher

SEIZE OKU

DEPART Ocher

ADVANCE (Exponential(45,0,T\_obs1)) ;

RELEASE OKU

SAVEVALUE 1,MP2

TABULATE VrObsl

TERMINATE 1

START 1000000

# ДОДАТОК Г

## ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МОДЕЛІ РА/М/1 В ПРОГРАМІ GPSS WORLD

**; Блок опису змінних**

VrDelta TABLE X\$Delta,0,1,60

INITIAL X\$Time,0

VrObsl TABLE MP2,0,1,60

VrOcher QTABLE Ocher,0,1,70

Alpha EQU 1.0001

k EQU 1

T\_obs1 EQU 1

Fun VARIABLE (AC1-X\$Time)

**; Блок генерації та обслуговування трафіку Парето**

GENERATE (k#(Uniform(1,0,1)+1E-6#Uniform(1,0,1))^(1/Alpha))

SAVEVALUE Delta,V\$Fun

SAVEVALUE Time,AC1

TABULATE VrDelta

MARK 2

QUEUE Ocher

SEIZE OKU

DEPART Ocher

ADVANCE (Exponential(45,0,T\_obs1))

RELEASE OKU

SAVEVALUE 1,MP2

TABULATE VrObsl

TERMINATE 1